

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**CONFIABILIDADE APLICADA NO COMPORTAMENTO DA
FERRAMENTA DE CORTE DE GEOMETRIA DEFINIDA**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA

LOUIS VAZ RODRIGUES

FLORIANÓPOLIS, 17 DEZEMBRO DE 1999

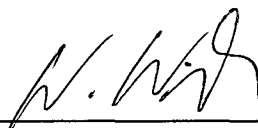
**CONFIABILIDADE APLICADA NO COMPORTAMENTO DA FERRAMENTA DE
CORTE DE GEOMETRIA DEFINIDA**

LOUIS VAZ RODRIGUES

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

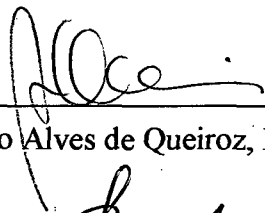
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
FABRICAÇÃO E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Dr. – Ing. Walter Lindolfo Weingaertner

Orientador

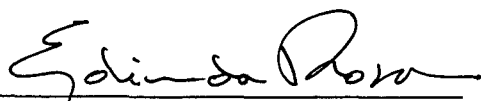
BANCA EXAMINADORA



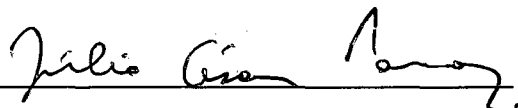
Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. Dr. Eng. Lourival Boehs



Prof. Dr. Eng. Edison da Rosa



Júlio César Passos, Dr.

Coordenador do Curso

Todas as minhas famílias,
a minha esposa e os meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Pelas graças e bençãos de Deus e pela Sua proteção que eu recebi junto com a minha família.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica UFSC, pelo apoio no meu ingresso no início de março 1997.

Ao Laboratório de Mecânica de Precisão UFSC, pelo apoio dos grupos pesquisadores e disponibilidade pessoal ou conjunto nas informações técnicas desde o início de março 1997.

Ao Escritório dos Assuntos Internacionais UFSC, pelo apoio moral e permanência no Brasil durante o curso de mestrado.

À Ökumenisches Studienwerk e.V. – Bochum – Alemanha, pela concessão da bolsa de estudo de mestrado.

Ao Prof. Abelardo Alves de Queiroz PhD, pelo apoio pessoal e solidariedade nos primeiros contatos sobre o meu ingresso no Departamento de Engenharia Mecânica.

Ao prof. Dr. –Ing. Walter Lindolfo Weingaertner, pela amizade, solidariedade, exemplo, dedicação, apoio e incansável orientação até o final deste trabalho.

Ao prof. Dr. Louis Roberto Westphal, pela amizade, solidariedade e apoio incansável na solicitação da bolsa de mestrado, o qual viabiliza este trabalho.

Ao Dr. Rodolf Ficker, diretor da Obra Ecumênica (ÖSW), pela concessão da bolça de estudo e recursos que viabilizaram este trabalho.

Ao prof. Dr. Eng. Rolf Bertrand Schroeter, pelo apoio, solidariedade, dedicação, orientação e sinceridade.

Ao amigo Dr. Ing. Andreas Edom pela amizade, apoio incansável e solidariedade desde os primeiros contatos políticos internacionais até terminar este curso.

Aos colegas e amigos, M. Eng. Rodrigo Panosso Zeilmann, M. Eng. Rodrigo Söterau, M. Eng. Milton Pereira, M. Eng^a. Eliene Lucas e demais colaboradores e amigos.

À todos os bolsistas do grupo Genus e especialmente ao Gilson que ajudou bastante neste trabalho. Deus vos abençoe.

ÍNDICE

SIMBOLOGIA viii

LISTA DE FIGURAS xi

LISTA DE TABELAS xiii

LISTA DE GRÁFICOS xiv

RESUMO xv

ABSTRACT xvi

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. INTRODUÇÃO 1

2. ESTADO DA ARTE 4

2.1. A USINAGEM COM FERRAMNETA

 DE GEOMETRIA DEFINIDA 4

2.2. GEOMETRIA DA FERRAMENTA 5

2.3. PROCESSO DE CORTE 7

2.4. FORMAÇÃO DOS CAVACOS 8

2.5. FORÇA DE USINAGEM 9

2.6. DESGASTE DA FERRAMENTA 11

2.6.1. DANIFICAÇÃO DA FERRAMENTA EM DECORRÊNCIA DE SUA ELEVADA

 SOLICITAÇÃO TÉRMICA E MECÂNICA 12

2.6.2. ABRASÃO MECÂNICA 14

2.6.3. ADESÃO 14

2.6.4. DIFUSÃO 15

2.6.5. OXIDAÇÃO 16

2.7. MATERIAIS DE FERRAMENTAS 16

2.7.1. AÇOS CARBONO (Aços-Ferramentas) 16

2.7.2. AÇOS RÁPIDOS	17
2.7.3. METAL DURO	19
2.7.4. METAL DURO COM REVESTIMENTO	20
2.7.5. AS CERÂMICAS PARA FERRAMENTAS DE USINAGEM	22
2.7.6. DIAMANTE E NITRETO DE BORO CÚBICO	22
2.8. CONFIABILIDADE	23
2.8.1. CONCEITOS ESTATÍSTICOS	24
3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	27
3.1. DEFINIÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE	27
3.2. DEFINIÇÃO DO CORPO DE PROVA	29
3.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO	30
3.3.1. TORNEAMENTO	30
3.3.2. MÁQUINA-FERRAMENTAS	31
3.4. EQUIPAMENTOS AUXILIARES	32
3.5. PREPARAÇÃO PARA OS ENSAIOS	33
3.6. PARÂMETROS DE USINAGEM	34
3.7. METODOLOGIA DE ENSAIO	35
3.8. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS	37
4. RESULTADOS DOS ENSAIOS	40
4.1. COMPORTAMENTO MÉDIO DOS SEIS ENSAIOS	40
4.2. COMBINAÇÃO DOIS À DOIS	44
4.3. COMBINAÇÃO TRÊS À TRÊS	46
4.4. COMBINAÇÃO QUATRO À QUATRO	48
4.5. COMBINAÇÃO CINCO À CINCO	49
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	50

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES 60

ANEXOS 61

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 118

SIMBOLOGIA

Letras Maiúsculas

C_v		vida da ferramenta para $v_c = 1$ m/min [constante]
E	[N/mm ²]	módulo de elasticidade
F		fator de Tuckey
F	[N]	força de usinagem
F_c	[N]	força de corte
F_f	[N]	força de avanço
F_p	[N]	força passiva
R_a	[μm]	desvio médio aritmético = rugosidade R_a
R_t	[μm]	altura máxima das irregularidades = rugosidade R_t
R_z	[μm]	média aritmética das profundidades isoladas de rugosidade Z_i dos cinco trechos de medição = rugosidade R_z
T	[min]	vida da ferramenta
$X_{médio}$		média dos valores
W_e	[Nm]	trabalho efetivo de corte
P_e	[Nm/min]	potência efetiva de corte
VB	[mm]	desgaste de flanco
$VB_{MÉD}$	[mm]	desgaste de flanco médio
KT	[mm]	profundidade de cratera
KM	[mm]	distância da cratera ao gume
KB	[mm]	largura da cratera
SV_{α}	[mm]	deslocamento do gume no sentido da face
SV_{γ}	[mm]	deslocamento do gume no sentido do flanco
D	[mm]	deslocamento do gume

Letras Minúsculas

a_p	[mm]	profundidade de usinagem
b	[mm]	largura de usinagem
f	[mm]	avanço
h	[mm]	espessura de usinagem [antes de corte]
h_{ch}	[mm]	espessura do cavaco depois do corte
k		coeficiente angular da curva de vida
$k_{cl.1}$	[N/mm ²]	força específica de corte para a seção de 1 mm ²
r_g	[mm]	raio de quina = raio de ponta
t	[min]	tempo de corte
v_c	[m/min]	velocidade de corte
$l-m_c$		coeficiente angular da força de corte
k		índice da relação entre a profundidade e o afastamento médio da cratera

Letras Gregas

α	[°]	ângulo de incidência = ângulo de folga
α'	[°]	ângulo de incidência do gume secundário
β	[°]	ângulo de corte = ângulo de cunha
κ	[°]	ângulo de direção do gume principal = ângulo de posição
γ	[°]	ângulo de saída
λ	[°]	ângulo de inclinação

ϵ_B	[graus]	grau de deformação plástica
ϵ_0	[graus]	grau de deformação
ϵ_z	[graus]	grau de deformação com escoamento
κ		nível de confiança = t student
μ	[mm]	a média
δ	[mm]	desvio padrão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ferramentas de metal duro revestida 1

Figura 2 – Desgaste da ferramenta 2

Figura 3 – Representação esquemática da ferramenta de corte 4

Figura 4 – Geometria positiva e negativa da ferramenta 5

Figura 5 – Ângulos relacionados com eixos axial e radial 6

Figura 6 – Regiões importantes da raiz do cavaco na usinagem 7

Figura 7 – Mecanismo de formação de cavaco 8

Figura 8 – As forças no torneamento longitudinal cilíndrico 10

Figura 9 – Desgastes comuns de uma ferramenta 11

Figura 10 – Mecanismos de desgaste como função da temperatura 12

Figura 11 – Função de probabilidade para uma variável aleatória 25

Figura 12 – Função densidade de probabilidade para efeito de desgaste 26

Figura 13 – Representação esquemática da fixação do corpo de prova no torno 29

Figura 14 – Condições de usinagem no torneamento longitudinal 30

Figura 15 – Microscópio de ferramentaria para medir o desgaste do flanco 32

Figura 16 – A medição do desgaste da ferramenta 36

Figura 17 – As dimensões do porta-ferramentas 37

Figura 18 – Combinações de dois a dois (1ª) 44

Figura 19 – Combinações de dois a dois (2ª) 45

Figura 20 – Combinações de dois a dois (3ª) 45

Figura 21 – Combinações de dois a dois (4ª) 45

Figura 22 – Combinações de três a três (1ª) 46

Figura 23 – Combinações de três a três (2ª) 46

Figura 24 – Combinações de três a três (3ª) 46

Figura 25 – Combinações de três a três (4ª) 47

Figura 26 – Combinações de três a três (5ª)	47
Figura 27 – Combinações de três a três (6ª)	47
Figura 28 – Combinações de quatro a quatro (1ª)	48
Figura 29 – Combinações de quatro a quatro (2ª)	48
Figura 30 – Combinações de quatro a quatro (3ª)	48
Figura 31 – Combinações de quatro a quatro (4ª)	48
Figura 32 – Combinações de cinco a cinco (1ª)	49
Figura 33 – Combinações de cinco a cinco (2ª)	49
Figura 34 – Combinações de cinco a cinco (3ª)	49
Figura 35 – Camada de revestimento	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caraterísticas do metal duro 19

Tabela 2 – Classes dos produtos 25

Tabela 3 – Codificação para ferramentas TNMG 27

Tabela 4 – Porta-ferramentas para a usinagem externa 28

Tabela 5 – Equações de correção para a rotação do motor 33

Tabela 6a – Planilha de inscrição dos dados e observação dos acontecimentos 35

Tabela 6b – Planilha de inscrição dos dados de desgaste 36

Tabela 7 – Os componentes de fixação da pastilha 38

Tabela 8 – Valores de desgaste de flanco para as ferramentas ensaiadas 40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento de desgaste dos seis gumes ensaiados 41

Gráfico 2 – A média de desgaste e a dispersão dos seis gumes 42

Gráfico 3 – Os valores médios do desgaste de flanco
para as 15 combinações 2 à 2 50

Gráfico 4 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 2 à 2 dos seis conjuntos 51

Gráfico 5 – As médias entre os conjuntos na combinação de três à três 52

Gráfico 6 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 3 à 3 dos seis conjuntos 53

Gráfico 7 – As médias entre os conjuntos na combinação de quatro à quatro 54

Gráfico 8 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 4 à 4 dos seis conjuntos 55

Gráfico 9 – As médias entre os conjuntos na combinação de cinco à cinco 56

Gráfico 10 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 5 à 5 dos seis conjuntos 57

RESUMO

Este trabalho visa estabelecer uma correlação entre o número de ensaios de usinabilidade efetuados com ferramentas de metal duro revestidas e a confiabilidade do resultado da progressão da marca de desgaste de flanco.

Foram realizados 6 ensaios de vida na usinagem do aço de corte livre NB 1213 e os resultados de combinações 2 - 2, 3 - 3, 4 - 4 e 5 - 5 são comparados com os valores médios e a dispersão obtida nos 6 ensaios.

Os resultados mostram que a dispersão é pequena para progressões da marca de desgaste de flanco $VB \leq 0,2$ mm.

A partir desta marca de desgaste a dispersão aumenta, não permitindo uma previsão segura da vida da ferramenta, como requerida em máquinas de comando numéricos mesmo para os valores obtidos em 6 ensaios.

ABSTRACT

This work seeks to establish a correlation between the number of machinability test, which was made with coated cemented carbide tool and the reliability of waer flank mark progression results.

There was realized 6 life of tests in machining of free cut steel NB 1213 and the combinations of results of 2 - 2, 3 -3, 4 - 4 and 5 – 5 tests are compared with the mean values and the dispersion obtained with 6 tests.

The results show that the dispersion is small for the flank tool waer mark progressions of $VB \leq 0,2$ mm.

Beyond this value of wear mark, the dispersion is increases, not allowing a safe forecast of life of tool, as requested in numerical command machines, even for the values obtained in 6 tests.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Laboratório de Mecânica de Precisão da Universidade Federal de Santa Catarina vem executando trabalhos na área da usinabilidade desde a sua criação, utilizando diversas ferramentas, entre as quais, ferramentas de metal duro revestidas, figura 1.

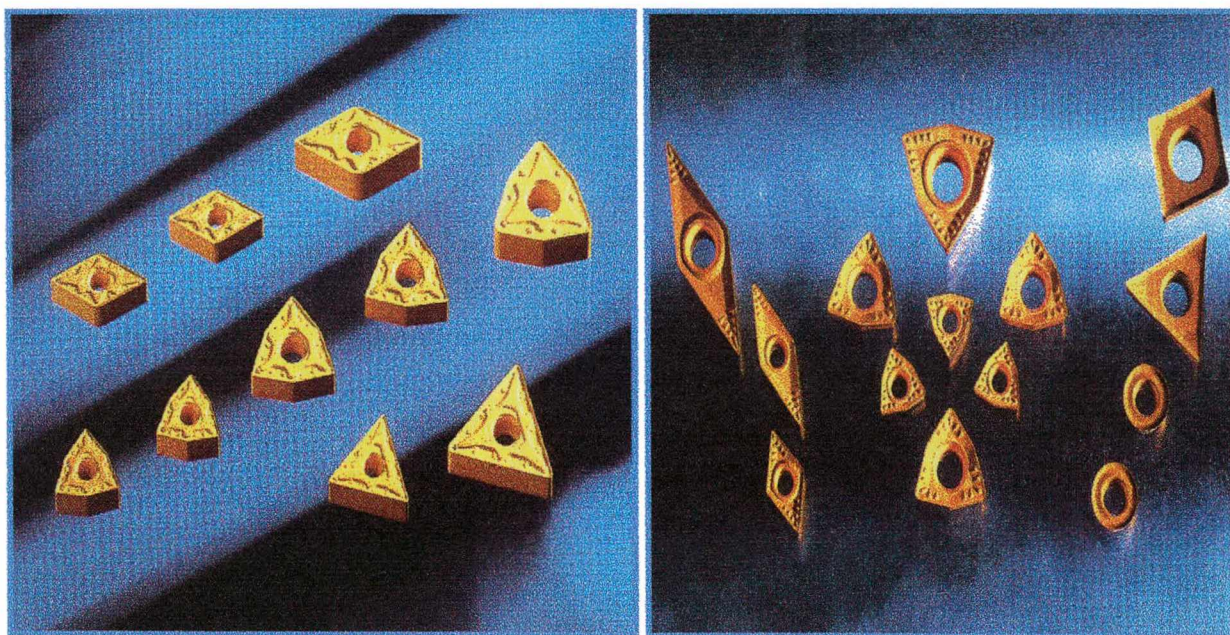


Figura 1 – Ferramentas de metal duro revestida

A utilização de ferramentas revestidas tem permitido ganhos significativos nas taxas de remoção de cavacos e velocidades de usinagem, chegando, em alguns casos até 5 vezes maiores do que os alcançados pelas não revestidas [19].

Nas pesquisas na área de usinagem procura-se melhorar o aproveitamento das ferramentas otimizando os parâmetros de usinagem, assim como, a velocidade de corte, avanço e profundidade de corte.

O revestimento das ferramentas de metal duro tem como consequência uma grande redução da força de corte, aumento da resistência à corrosão, diminuição da condutividade térmica e uma melhora sensível da qualidade superficial das peças usinadas[35].

Hoje, as ferramentas revestidas são utilizadas em grande quantidade na usinagem nas indústrias. A análise do comportamento das ferramentas de corte revestidas em pesquisas visam melhorar a qualidade do produto para um mercado cada vez mais competitivo nacional e internacionalmente.

As ferramentas de corte revestidas podem apresentar um desgaste regular de camada de revestimento. Pequenas flutuações na espessura do revestimento bem como micro defeitos nos gumes fazem com que a vida da ferramenta flutue, principalmente para desgastes que ultrapassam a camada de revestimento. É comum, usuários de ferramentas de corte revestidas descartarem as mesmas bem antes de alcançarem a vida limite da ferramenta, para trabalharem em segurança.

Nos trabalhos desenvolvidos no LMP tem sido usual repetir um ensaio de vida e, no caso de dúvidas, efetuar um terceiro, excepcionalmente um quarto ensaio de vida. Neste caso, se desconsiderava o valor discrepante. Os desgastes normalmente medidos na ferramenta de corte estão mostrados na figura 2.

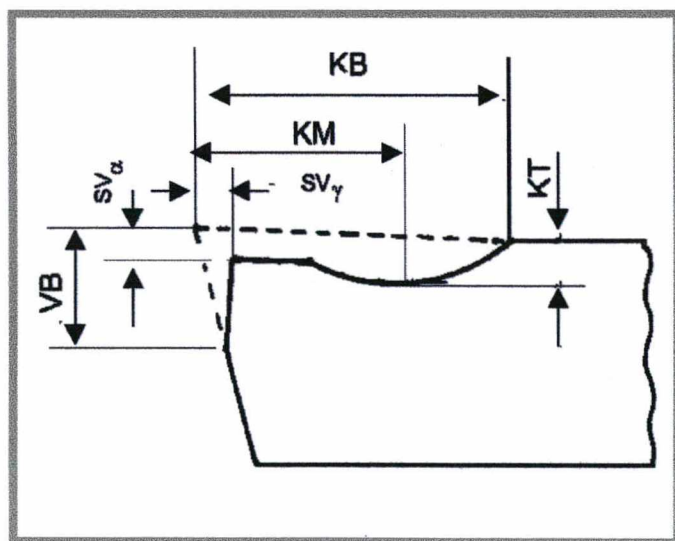


Figura 2 – Desgaste da ferramenta [13]

Na face mede-se a profundidade de cratera (KT), largura da cratera (KB), a distância do centro da cratera ao gume (KM) e o deslocamento do gume no sentido da face (SV_γ).

No flanco é medido o desgaste de flanco (VB) e o deslocamento do gume no sentido do flanco (SV_α) [35].

O manuseio inadequado de ferramentas revestidas (choque entre pastilhas, montagem indevida no suporte), não homogêneo do material da peça, vibrações, variações da camada de revestimento influenciam o desgaste da camada de revestimento.

Eventuais microfissuras no revestimento podem levar à uma perda do mesmo e o desgaste se torna progressivo já no início do corte.

Para uma produção em máquina de comando numérico necessita-se de informações sobre a expectativa de vida da ferramenta de corte. A literatura não é clara na definição de critérios que devem ser usados na determinação do número de ensaios a serem realizados, para que se tenha uma confiabilidade razoável da vida da ferramenta revestida.

Para que se possa, no futuro, apreciar de forma mais clara os resultados de ensaios de usinagem, neste trabalho se propõe avaliar os resultados de medições de ensaios de desgaste de ferramentas revestidas obtidos em combinações de 2, 3, 4 e 5 ensaios e assim avaliar a confiabilidade dos resultados para desgastes crescentes das ferramentas em questões.

Para que se tenha um melhor entendimento será apresentada uma revisão sobre a tecnologia de usinagem com ferramentas de corte de geometria definida e materiais de ferramentas.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1. A USINAGEM COM FERRAMENTA DE GEOMETRIA DEFINIDA

No início do corte, a cunha da ferramenta penetra no material deformando-o elástica e plasticamente. Após ultrapassar a tensão máxima de cisalhamento do material, este começa a escoar sobre a face da ferramenta. Em dependência da geometria da ferramenta, o material deformado passa a formar cavacos que deslizam sobre a face da ferramenta, figura 3 [42].

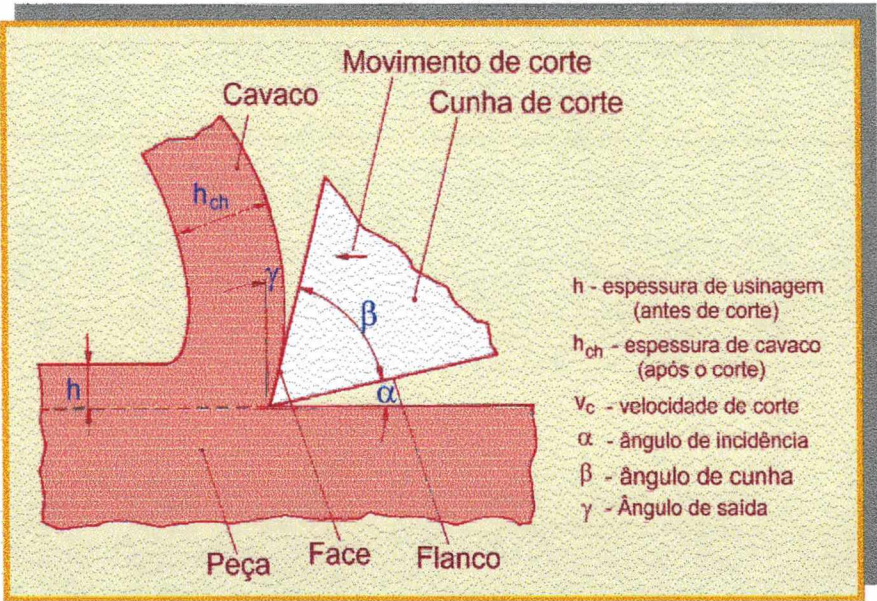


Figura 3 – Representação esquemática da ferramenta de corte [42]

Em todos os processos de usinagem, as características do processo, como formação e saída do cavaco, força de corte, desgaste e resultado de trabalho, são influenciadas consideravelmente pela geometria da ferramenta. Em decorrência disso, a geometria da ferramenta deve ser adaptada ao material da peça, ao material da ferramenta e às condições específicas da máquina-ferramenta.

2.2. GEOMETRIA DA FERRAMENTA

Na usinagem de metais necessita de um gume reforçado, o que requer um grande ângulo de cunha (β). A cunha necessita também de um ângulo de incidência (α) para que não ocorra atrito com a peça usinada. Quanto mais aguda for a cunha, mais facilmente a ferramenta penetra no material e desprende os cavacos. A ferramenta com raio de gume grande necessita de mais força para penetrar no material da peça, porém, o gume é mais resistente.

A ação de corte está relacionada em grande parte pelo ângulo de saída (γ) [20]:

- **ÂNGULO DE SAÍDA POSITIVO:** significa um ângulo de cunha menor que 90° . Um ângulo de saída positivo implica em forças de corte menores, podendo ser, às vezes, um recurso contra às vibrações. [20]
- **ÂNGULO DE SAÍDA NEGATIVO:** significa uma cunha forte de 90° ou mais. Para obter incidência, o ângulo de saída passa a ser negativo. As forças de corte aumentam devido à deformação extra dos cavacos.

A figura 4 mostra esquematicamente uma geometria com ângulo de saída positivo e negativo, respectivamente.

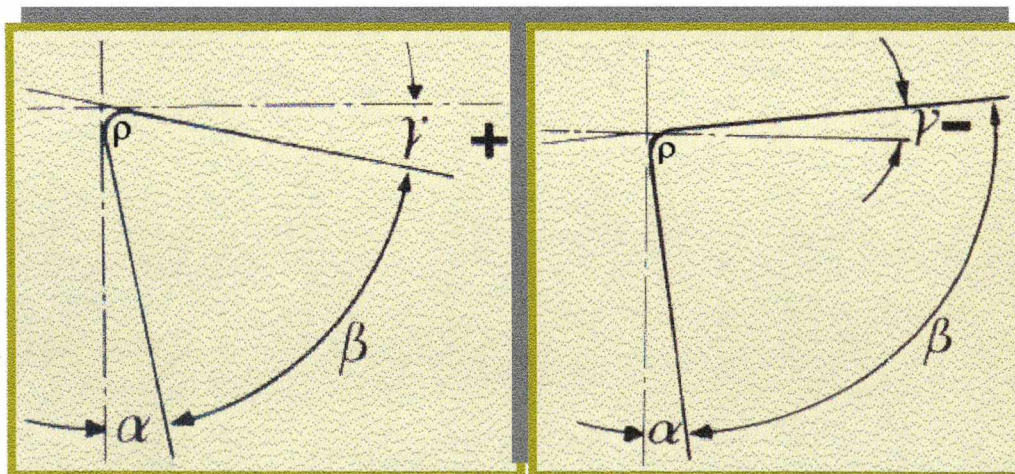


Figura 4 – Geometria Positiva e Negativa da Ferramenta [20]

Os ângulos da parte cortante servem para a determinação da posição da face e dos flancos [35].

O ângulo de posição secundário (χ') é definido pela projeção do gume secundário sobre o plano de referência e a direção de avanço.

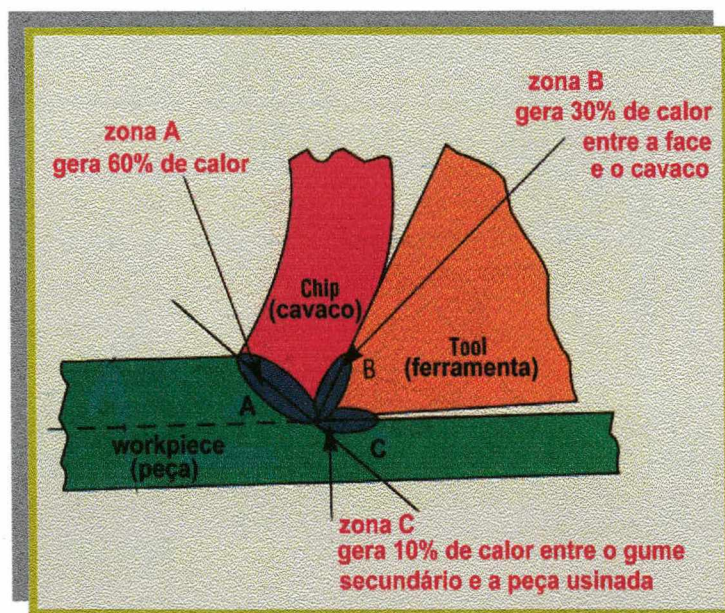
O ângulo de quina (ϵ) da ferramenta é medido no plano de referência entre a posição do gume principal e a posição do gume secundário. O raio de quina (r_ϵ) é localizado na interseção do gume principal e do gume secundário. Em conjunto com o avanço define a rugosidade cinemática do componente usinado.

O ângulo de inclinação do gume principal (λ) é medido no plano de corte. Ele pode ser positivo ou negativo.

O raio de gume é definido por (ρ) e medido no plano ortogonal do gume principal. O raio de gume (ρ) define a capacidade de corte e a espessura mínima de usinagem.

2.3. PROCESSO DE CORTE

Existem três regiões na raiz do cavaco, como mostra na figura 6.



A região A estende-se ao longo do plano de cisalhamento e é a região entre o material deformado e o material não deformado.

Na região A ocorre maior transformação de energia (60% de trabalho de usinagem) [38].

Figura 6 – Regiões importantes da raiz do cavaco na usinagem [38]

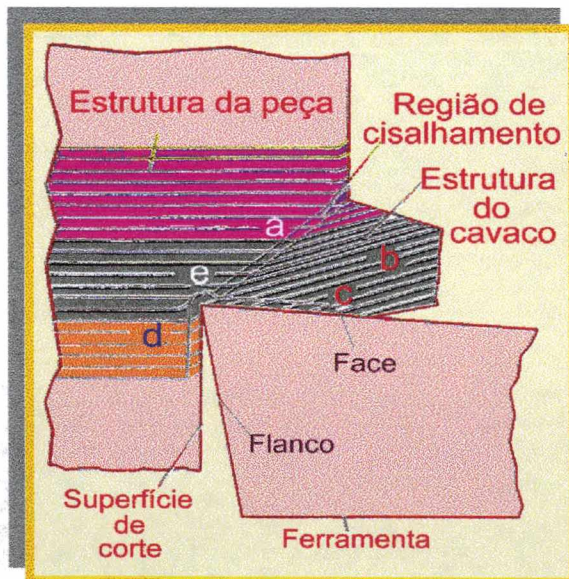
A região B é a área que inclui a interface entre o cavaco e a face da ferramenta. Na região B é liberada 30% de calor durante a usinagem[38].

A região C se situa entre a superfície usinada e o flanco da ferramenta. A região C é a região que define a rugosidade característica da peça [38]. Na região C são gerados 10% de calor durante o corte. A região A é a região de deformação primária e a região B e C são as regiões de deformação secundária e terciária respectivamente.

Os cavacos produzidos na usinagem podem apresentar muitos aspectos distintos, dependendo da velocidade de corte, do avanço e profundidade de corte.

2.4. FORMAÇÃO DOS CAVACOS

Existem diversas formas de cavacos, denominadas de: cavacos contínuos, cavacos cisalhados, cavacos lamelares e cavacos arrancados. Além disto, os dois primeiros tipos podem vir associados com a formação do gume postiço [35]. O mecanismo de formação de cavaco é mostrado de forma esquemática na figura 7.



A configuração estrutural na peça (a) por cisalhamento, passa para configuração estrutural do cavaco (b). A deformação plástica na região de cisalhamento na usinagem de materiais frágeis, bem como os materiais dúcteis que apresentam encruamento, pode levar à separação do material na região de cisalhamento. Se o material tem uma capacidade de deformação maior, a separação só ocorre imediatamente

Figura 7 – Mecanismo de formação de cavaco [17]

diante do gume na região (e). A solicitação de cisalhamento, simultânea à aplicação de uma pressão vertical sobre a ferramenta em combinação com as temperaturas elevadas, leva a deformações na camada inferior do cavaco (c) e na superfície de corte (d).

Durante o deslizamento sobre a face da ferramenta, se formam superfícies limites que também sofrem deformações plásticas complementares. Essas regiões de escoamento que tem uma textura de deformação paralela à face da ferramenta, podem ser comparadas a um escoamento viscoso com gradiente de deformação elevado [17].

Cavacos contínuos são formados quando o material tem uma capacidade de deformação suficientemente elevada ($\epsilon_B > \epsilon_0$), ou seja, o grau de deformação plástica limite é maior do que o grau de deformação.

A estrutura na região do cavaco é regular e as deformações não levam a encruamentos acentuados na formação de cavacos, e o processo não é restringido por vibrações [17].

Cavacos cisalhados constam de segmentos de cavacos, que são seccionados na região de cisalhamento e em parte caldeiam entre si. Eles se formam de ($\epsilon_z < \epsilon_0$), ou seja, o grau de deformação com escoamento é menor do que o grau de deformação limite.

Para materiais de resistência mais elevada, ou materiais que apresentam um encruamento elevado durante a formação de cavacos, o cisalhamento pode levar a remoção total das lamelas. Fala-se então em cavacos cisalhados. Cavacos cisalhados também podem ocorrer em materiais dúteis para velocidade de corte extremamente baixas (1 à 3 m/min) [18].

Cavacos arrancados normalmente ocorrem na usinagem de materiais frágeis com estrutura irregular, como em alguns ferros fundidos e na usinagem de rochas. O material não é deformado e arrancados da superfície, com o que a superfície da peça muitas vezes é danificada por microlascamentos [18].

2.5. FORÇA DE USINAGEM

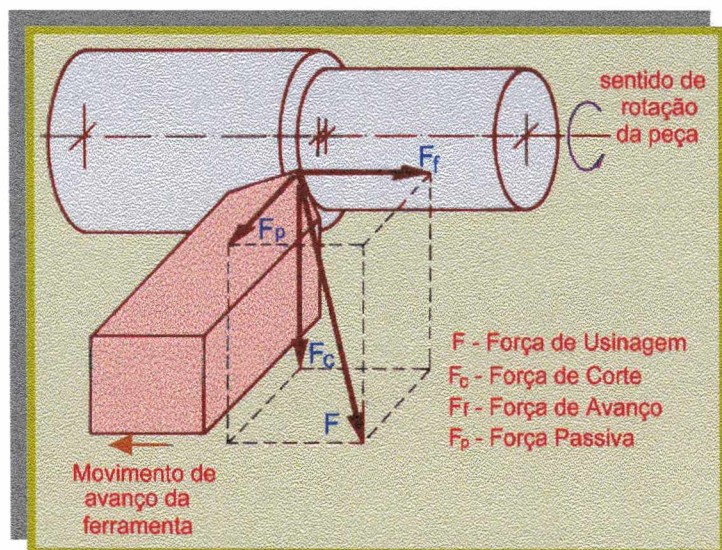
A força de usinagem que atua entre a ferramenta, peça e cavaco durante o processo de usinagem, é normalmente representada por suas componentes.

A decomposição da força de usinagem pode ser polar ou cartesiana segundo eixos quaisquer arbitrários e pode ser por ações físicas específicas em certas direções, como a direção de avanço, direção de corte, atrito, cisalhamento e outros.

O sistema de decomposição da força de usinagem mais comum é o sistema cartesiano, na qual as direções dos eixos coincidem com a velocidade de corte, velocidade de avanço e a normal entre estas duas.

A componente da força de usinagem no sentido da velocidade de corte é denominada de força de corte, no sentido da velocidade de avanço é a força de avanço e a componente normal à estas duas, é a força passiva.

Como sobre a componente passiva não incide nenhum movimento durante a usinagem, ela não é responsável por uma parcela de trabalho na usinagem. A força de usinagem é a resultante das componentes das forças que agem nas diversas direções como mostrado na figura 8.



As tensões médias normais e tangenciais sobre a face da ferramenta na usinagem do aço de construção mecânica estão situadas na faixa de 250 a 350 N/mm² e 350 a 400 N/mm², respectivamente [18]. Para aços ligados estes valores podem atingir a 1100 N/mm². O trabalho de usinagem é o resultante

Figura 8 – As forças no torneamento longitudinal cilíndrico [42]

do produto entre o percurso percorrido e as forças que indicam na direção do percurso de usinagem [42].

Correspondentemente pode-se determinar a potência de usinagem como sendo o produto das componentes da velocidade e da componente da força de usinagem respectiva.

O trabalho efetivo W_e e a potência efetiva P_e são determinadas como a soma das correspondentes parcelas de corte e avanço.

O trabalho mecânico efetivo empregado na usinagem é quase que completamente transformado em energia térmica.

Os centros de geração de calor são idênticas aos centros de deformação. Em decorrência disso, o calor é concentrado na região de cisalhamento e nas regiões de atrito na ferramenta [17].

2.6. DESGASTE DA FERRAMENTA

Durante a usinagem, a ferramenta é submetida a um desgaste que depende da forma da solicitação e da duração de utilização da ferramenta [42]. A figura 9 apresenta esquematicamente as informações sobre os desgastes mais comuns em uma ferramenta.

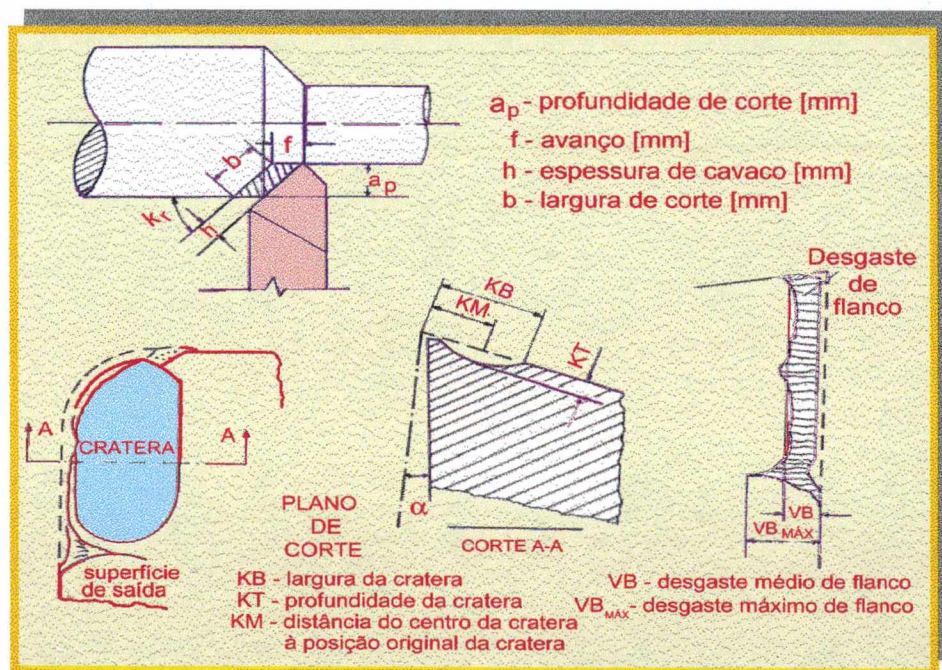


Figura 9 – Desgastes comuns de uma ferramenta [6]

A ferramenta é desgastada na face e no flanco. Os desgastes de flanco e de cratera são os mais empregados como critérios de fim de vida da ferramenta.

Vários mecanismos de desgaste podem ser observados na evolução de desgaste de uma ferramenta de corte. A dominância de um ou mais destes mecanismos de desgaste sobre a vida da ferramenta depende do par material da peça, material da ferramenta, bem como das condições de trabalho (principalmente da velocidade de corte e do avanço).

A figura 10 [17] mostra de forma esquemática a dependência entre os principais mecanismos de desgaste e da temperatura de corte.

Observa-se que em baixa temperatura dominam os mecanismos de adesão e de abrasão. Para temperaturas elevadas a adesão se torna não significativa, ao passo que mecanismos com a oxidação, a difusão e a deformação plástica passam a ter uma importância crescente.

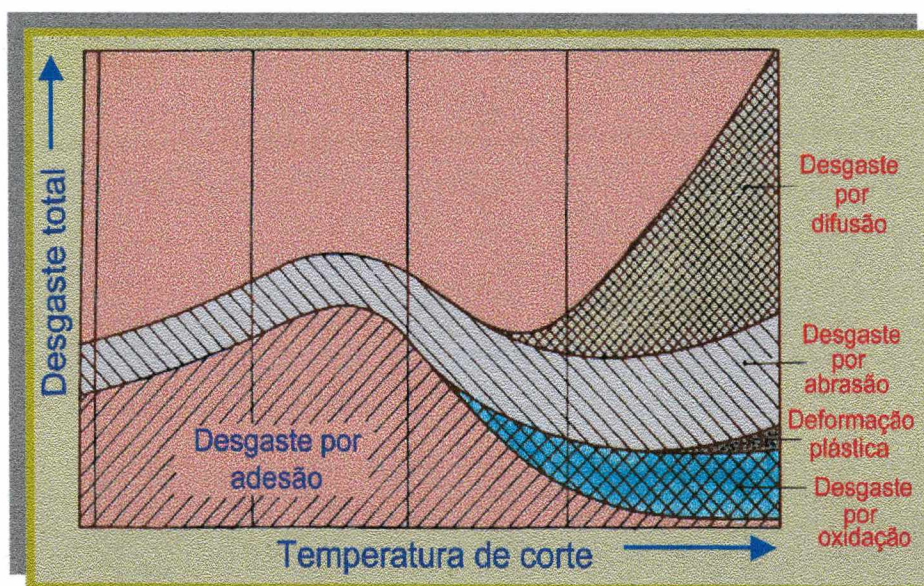


Figura 10 – Mecanismos de desgaste como função da temperatura [17]

2.6.1. Danificação da Ferramenta em decorrência de sua elevada solicitação Térmica e Mecânica.

Como consequência das elevadas solicitações mecânicas e térmicas tem-se:

- a) Lascamentos ou quebras nos gumes;

- b) Formação de trincas paralelas ao gume;
- c) Trincas em forma de pente; e
- d) Deformação plástica.

a) Lascamento ou quebra nos gumes

Grandes forças de corte facilmente proporcionam lascamentos ou quebras nos gumes ou na quina da ferramenta, quando os ângulos de cunha ou quina da ferramenta são muito pequenos, ou quando o seu material for muito quebradiço. Cortes interrompidos também podem proporcionar este tipo de desgaste, principalmente quando da usinagem de materiais tenazes de cavacos aderentes [6].

Quebras ou lascamento menores podem surgir quando da usinagem de peças que contém em sua estrutura inclusões não metálicas, duras, resultantes da desoxidação do aço [6].

b) Trincas paralelas ao gume

Em cortes interrompidos, como fresamento, a ferramenta se encontra sobre forte variação de esforços. As freqüentes variações nas forças conduzem às trincas paralelas ao gume como consequência da fadiga mecânica, principalmente no fresamento com pastilhas de metal duro [6].

c) Trincas em forma de pente

Este tipo de trinca resulta da ação térmica, em cortes interrompidos, onde ocorre uma freqüente e brusca variação da temperatura que leva à fadiga térmica. Cita-se como exemplo o caso do fresamento, onde durante o corte a ferramenta sofre um grande aquecimento ($600 - 1000^{\circ}\text{C}$) e ao sair da peça entra em contato com o ambiente, onde reina uma temperatura muito mais baixa (50°C) [6].

d) Deformação plástica

A deformação plástica se faz presente na ferramenta quando o material apresenta insuficiente resistência a deformação, porém tenacidade suficiente.

Isto pode acontecer em ferramentas com defeitos de têmpera, no metal duro com excesso de ligante ou quando a ferramenta atinge uma temperatura na qual o seu material começa a amolecer [6].

2.6.2. Abrasão Mecânica

A abrasão mecânica resulta do forte atrito e da elevada pressão e temperatura entre peça-ferramenta-cavaco. Partículas duras muito pequenas do material da peça por ação de forças externas, atritam sobre a ferramenta [35]. Nas regiões de contato no flanco e na face são observados da ação do desgaste abrasivo.

2.6.3. Adesão

A adesão de pequenas partículas de material da peça à ferramenta deve-se às asperezas existentes nas superfícies da cunha de corte, a ação das altas temperaturas e pressões presentes na zona de corte e ao fato de que a superfície inferior do cavaco, recém cortada, apresentar-se limpa, sem camada protetora de óxidos e portanto, quimicamente muito ativa. Ao se destacarem, estas partes que se encontravam aderidas à face da ferramenta carregam consigo pequenas partículas da ferramenta, provocando um desgaste na mesma.

O mecanismo de aderência é responsável pela formação de gume postiço na face da ferramenta, próxima ao gume. As partículas que se soldam na face da ferramenta apresentam um elevado grau de deformação a frio, isto é, estão encruadas, duras e resistentes. Elas dificultam o deslizamento do cavaco, aumentam o coeficiente de atrito na face da ferramenta e provocam assim um maior recalque de cavaco. O aumento do atrito provoca um aumento progressivo da força de deslizamento do cavaco, até que as partículas soldadas são arrancadas.

O arrancamento destas partículas pode-se dar por cisalhamento da aspereza da ferramenta, por separação na solda ou por cisalhamento na própria partícula.

Apesar de a formação do gume postiço proteger a face da ferramenta, pois a velocidade de saída de cavaco sobre a face tende à zero, a presença de gume postiço é prejudicial para a ferramenta e para a peça. Parte do gume postiço é arrancado e forçado a passar na interface entre o flanco e a superfície de corte.

A ação abrasiva destas partículas sobre o flanco acelera o desgaste do flanco e as partículas que saem na região do gume secundário não incrustadas na superfície de trabalho, tornando a mesma áspera e escamosa.

O mecanismo de formação do gume postiço aumenta até uma determinada velocidade, pois vão se alcançando temperaturas e pressões que favorecem a aderência.

Já em velocidades mais elevadas, a temperatura sobe a ponto de amolecer as partículas aderidas, que recristalizam, enquanto o material da ferramenta, muito mais resistente ao calor, não é afetado. O arrancamento das partículas aderidas se torna muito mais fácil. O desgaste da ferramenta diminui, bem como o recalque do cavaco, pois o mesmo desliza mais facilmente pela face da ferramenta [35], e um número decrescente de partículas de gume postiço são forçados a passar na interface flanco-superfície de corte.

2.6.4. Difusão

Em altas temperaturas de usinagem os átomos de ferramenta e da peça atingem uma certa mobilidade, dando início ao fenômeno da difusão, de forma que os cristais podem modificar a sua forma e constituição. Quando a difusão de elementos da peça propicia a formação de constituintes menos resistentes ao desgaste abrasivo na ferramenta de corte, ou quando a difusão de elementos da ferramenta leva à formação de constituintes mais duros, mais abrasivos ou que aumentem a resistência da peça, verifica-se um aumento do desgaste na ferramenta de corte.

A difusão torna-se mais intensa com o aumento da temperatura e proporcionam maior desgaste do material da ferramenta na medida que aumenta a temperatura do mesmo [6].

Para o aço ferramenta e aço rápido o desgaste por difusão não é significativo, pois estes materiais começam a amolecer numa temperatura entre 250 a 550°C respectivamente. É uma forma de desgaste que se dá nas ferramenta de metal duro, onde podem estar presentes as seguintes reações [35]:

- Difusão do ferro para a fase de cobalto, formando uma liga de baixo ponto de fusão e de fácil desgaste;
- Difusão do cobalto para o aço, onde ferro e cobalto formam cristais mistos;
- Difusão do carbono, que é retirado dos carbonetos duros para o aço;
- Dissolução do carboneto de tungstênio na liga cobalto-carbonetos de tungstênio-ferro, com formação de carbonetos mistos e duplos do tipo $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $(\text{FeW})_6\text{C}$ e $(\text{FeW})_{23}\text{C}_6$ e liberação de carbono.

Como consequência do aumento da temperatura com o aumento da velocidade de corte e do avanço (podendo atingir 1100°C na face da ferramenta) a formação de cratera na face da ferramenta permite concluir que os mecanismos de difusão enfraquecem os constituintes do metal duro (principalmente os do grupo K), permitindo uma ação de desgaste abrasivo mais acentuado nas regiões onde as temperaturas são mais elevadas.

2.6.5. Oxidação

A oxidação se verifica nas ferramentas de corte aquecidas até altas temperaturas, quando se formam as carepas. No caso da ferramenta a oxidação pode ser uma causa de desgaste da mesma. A oxidação em baixas temperaturas não é significativa.

Aços-carbono, aços rápidos e stellites só formam carepas em temperaturas bem superiores à de amolecimento da ferramenta.

Metais duros principalmente os do grupo K não revestidas já iniciam a formação de carepas em temperaturas de 700 a 800°C , ou seja, em temperaturas usuais de usinagem com este material [35], e bem abaixo de sua temperatura de amolecimento.

2.7. MATERIAIS DE FERRAMENTAS

2.7.1. Aços Carbono (Aços-Ferramentas)

Foram os primeiros materiais industrialmente usados na fabricação de ferramentas de usinagem e praticamente os únicos até 1900. O grupo de aços-ferramentas pode ser

dividido em dois sub-grupos, os quais sejam: os sem elementos de liga e os com elementos de liga [35].

Os aços sem elementos de liga apresentam além de ferro (maior percentual), 0,8% a 1,5% de carbono [17] e pequenas quantidades de silício e manganês. O carbono é o principal responsável pela dureza destes aços.

Para temperaturas superiores a 200°C eles perdem rapidamente sua dureza, o que limita a utilização em baixas velocidades de corte e materiais de peças não muito duros.

Os aços com elementos de liga, considerados de baixa liga, apresentam além de ferro, carbono, manganês e silício, até 1,5% de cromo (Cr), 1,2% de tungstênio (W), 0,5% molibdênio (Mo) e 1,2% de vanádio (V) [35].

Admitem velocidade de corte mais alta e temperaturas ligeiramente mais altas do que 250°C. Atualmente, o uso de aços carbono para fabricação de ferramentas é bastante reduzido, tendo as seguintes aplicações principais:

- Fabricação de ferramentas de formas mais complexas;
- Usadas principalmente para a usinagem de latão e bronses;
- Para ferramentas de pouca utilização;
- Em pequenas oficinas cuja atividade principal é a recuperação de peças; e
- Para ferramentas de uso caseiro e trabalhos em madeira.

As ferramentas de aço carbono apresentam como principais vantagens o baixo preço do aço, e a facilidade de fabricação (usinagem e tratamento térmico).

2.7.2. Aços Rápidos

O aço rápido foi descoberto por volta de 1898 pelo norte-americano F.W. Taylor e apresentado publicamente pela primeira vez, com extraordinário sucesso, na Exposição Mundial de Paris de 1900. A denominação “aço rápido” originou-se do fato de ser um material que permite usinar com velocidade de corte algumas vezes superior ao aço carbono. Em relação aos aços carbono apresentam a vantagem de manterem uma boa dureza até temperaturas de 600°C e maior resistência à abrasão, o que permite o uso de maiores velocidades de corte.

Os aços rápidos podem ser classificados em dois grupos principais: os aços rápidos comuns (sem cobalto); e os aços rápidos com cobalto, também conhecidos por aços super-rápidos. Inicialmente usava-se como elemento de liga o tungstênio (W), cromo (Cr), e vanádio (V). Em 1921, com a adição de cobalto (Co), conseguiu-se melhorar significativamente as propriedades do aço rápido.

Durante a Segunda Guerra Mundial 1942, em decorrência da falta de matéria-prima, passou-se a substituir o tungstênio parcial ou completamente por molibdênio (Mo). Estes aços apresentam maior dificuldade de tratamento térmico e forjamento. O menor preço do molibdênio e pelo fato de participar na composição química com a metade da percentagem em peso em relação ao tungstênio, fazem com que os aços rápidos ao molibdênio sejam mais baratos do que os aços ao tungstênio, considerando propriedades equivalentes [6].

As principais influências dos elementos de liga nos aços rápidos são [35]:

- Tungstênio (W): formador de carbonetos, aumenta a resistência ao revenimento e a resistência ao desgaste.
- Molibdênio (Mo): aumenta a temperabilidade e melhora a tenacidade. Tungstênio é substituível pelo molibdênio.
- Vanádio (V): principal formador de carbonetos primários (VC), e aumenta a resistência ao desgaste (uso em operações de acabamento).
- Cobalto (Co): desloca o limite da temperatura crítica de aquecimento para valores mais altos, motivo pelo qual possibilita durezas à quente mais elevadas. Mais carbonetos se dissolvem e a dureza à quente aumenta.

Segundo a norma ISO, os aços rápidos são especificados pela letra S, acompanhada por um índice composto por um ou dois números. A norma DIN usa igualmente a letra S, seguida de números, representando da esquerda para a direita, seqüencialmente o percentual: tungstênio, molibdênio, vanádio e cobalto (W-Mo-V-Co). exemplo: S6-5-2-5. A norma AISI usa as letras T e M para designá-los, também acompanhados de um índice numérico. Nos aços rápidos a quantidade de cromo varia entre 3,5 a 4,5%, e contém baixas percentagens de silício, manganês, fósforo e enxofre.

2.7.3. Metal Duro

O metal duro, desenvolvido pela firma Krupp na Alemanha por volta de 1920, era constituído de dois componentes básicos: o carboneto de tungstênio (WC) e o cobalto (Co). O primeiro é responsável pela dureza e resistência ao desgaste e o segundo pela tenacidade. Este metal duro apresentava seu melhor rendimento na usinagem de ferro fundido [12]. A matéria prima para a fabricação de carboneto de tungstênio é a scheelita, nome que se originou em homenagem ao químico Sueco K.W. Scheele. Este minério é encontrado em quantidades apreciáveis no nordeste brasileiro [6]. O minério passa por uma série de tratamentos químicos e mecânicos como: moagem, lavagem, filtragem, aquecimento e nova moagem, até chegar ao tungstênio metálico, extremamente puro na forma de pó. Por volta de 1930 passou-se a utilizar adição de carbonetos de titânio (TiC), tântalo (TaC) e nióbio (NbC) ao metal duro, dando-lhe melhores propriedades para a usinagem de aços.

A partir de 1950 passou a produzir as classes especiais de metal duro, ou seja, com campo de aplicação ampliado. Foi a partir de 1970 que se passou a fabricar o metal duro com revestimento. Os metais duros convencionais são classificados em grupos P, M e K. Os critérios para tais grupos são mostradas na tabela 1.

CLASSE ISSO	APLICAÇÕES NA USINAGEM DE:		
P10	Aços comuns, aços ligados, aços Fundidos, aço inoxidável, ferro fundido maleável de cavacos longos		 Maior dureza e resistência ao desgaste
P15			
P20			
P25			
P30			
P40	Aços, aço fundido, aço manganês, Aço inoxidável austenítico, ferro fundido maleável		 Maior velocidade, maior tenacidade e maior avanço
M10			
M15			
M20			
M40	Ferro fundido cinzento coquilhado maleável, aços temperados, metais não ferrosos, plástico e madeira		
K10			
K20			
K30			

Tabela 1 – Caraterísticas do metal duro [17]

Os metais duros do grupo P se caracterizam por uma alta resistência a quente e pequena resistência ao desgaste abrasivo. São empregados na usinagem de aço, aço fundido e de ferro fundido maleável, nodular ou ligado, de cavaco longo.

Os metais duros do grupo M tem uma resistência a quente relativamente boa e boa resistência à abrasão. São adequados para usinagem de aço, aço fundido, aço ao manganês, ferros fundidos ligados, aços inoxidáveis austeníticos e ferro fundido maleável e nodular.

Os metais duros do grupo K tem menor resistência a quente e uma alta resistência ao desgaste abrasivo. Em decorrência disso, eles tem sua principal aplicação para usinagem de materiais de cavaco curto, como ferro fundido e materiais não ferrosos e não metálicos, bem como para usinagem de materiais com boa resistência a quente, para usinagem de materiais como rochas ou madeira [17].

2.7.4. Metal Duro com Revestimento

Uma nova fase no desenvolvimento de torneamento de ferramentas de metal duro, deu-se quando as pastilhas passaram a ser revestidas por intermédio de difusão atômica e alta temperatura, com finas camadas de carboneto de titânio, nitreto de titânio, óxido de alumínio e outros materiais.

O novo tipo de material cortante otimizou a resistência ao desgaste sem reduzir a tenacidade. O metal duro revestido é principalmente utilizado em torneamento porém atualmente está se estabelecendo como uma ótima opção também para operações de fresamento [24].

Os substratos cada vez mais se tornam adequados ao recebimento de revestimento, possibilitando um campo de aplicação mais amplo e uma conseqüente racionalização nos estoques de pastilhas fabricadas nas indústrias.

Influenciando no tempo de usinagem, na vida da ferramenta e no consumo de potência, o desenvolvimento dos gumes da ferramenta é o fator decisivo para o aumento da produtividade das operações de usinagem.

O uso da técnica do revestimento no metal duro data do início da década 70. O processo hoje mais usado é o CVD (deposição química de vapor), entretanto, o processo PVD (deposição física de vapor) também apresenta bons resultados [6].

O revestimento geralmente é realizado sobre um substrato de metal duro bastante tenaz. Esta fina película (3 a 10 μm), composta por elementos muito duros e quimicamente bastante estáveis, aumenta a resistência à abrasão e diminui a difusão entre o par ferramenta e peça-cavaco.

As ferramentas revestidas normalmente são usadas no torneamento, fresamento e furação onde se consegue usinar com maiores velocidades de corte do que com as ferramentas não revestidas.

Uma ou mais camadas de revestimento podem ser aplicadas sobre o substrato. Os revestimentos mais usados são à base de carbonetos e nitretos de titânio (TiC , TiN), carbonetos (Ti (C,N)) e óxido de alumínio (Al_2O_3).

- CARBONETO DE TITÂNIO (TiC): apresenta baixo coeficiente de atrito e baixa condutividade térmica, o que representa menor temperatura difusão entre o par ferramenta e peça-cavaco. Ocorre portanto, menor desgaste por abrasão e por difusão.

O carboneto de titânio é mais duro que o nitreto de titânio, apresenta também menor coeficiente de dilatação térmica o que é vantajoso onde ocorrem variações de temperatura.

- NITRETO DE TITÂNIO (TiN): quimicamente é mais estável do que o TiC , o que lhe oferece menor tendência a difusão. Sua aderência ao substrato é pior do que a do TiC .
- ÓXIDO DE ALUMÍNIO (Al_2O_3): possui elevada dureza a quente e estabilidade química, proporcionando boa resistência a formação de cratera.

As desvantagens são a fragilidade e dificuldade de aderência ao substrato. Geralmente a primeira camada sobre o substrato é de carboneto de titânio, a fim de aumentar a aderência. Devido às características de desgaste peculiares destas ferramentas, neste trabalho será dada maior atenção às mesmas.

2.7.5. As Cerâmicas para Ferramentas de Usinagem

As ferramentas cerâmicas mais tradicionais são as cerâmicas à base de óxido de alumínio (Al_2O_3) ou ainda com adição de óxido de zircônio (ZrO_2), compactadas a frio e denominadas de cerâmica branca. As cerâmicas brancas são compactadas a frio e posteriormente sinterizadas.

Uma segunda classe, é denominada cerâmica mista [1,45], a base de óxido de alumínio (Al_2O_3) e carboneto de titânio (TiC), que apresenta cor preta, ou com nitreto de titânio (TiN), apresentando cor marrom. Ambas são compactadas a quente.

Uma terceira classe, denominada CERMET, é um material composto, ou seja, há uma ou mais fases cerâmicas e a fase metálica. Os principais componentes são: o carboneto ou nitreto de titânio mais o níquel (Ti (C,N) + Ni) e o carboneto de molibdênio (MoC) [24, 25, 45]. A quarta classe e mais recente é a cerâmica à base de nitreto de silício (Si_3N_4) e é uma cerâmica não óxida.

2.7.6. Diamante e Nitreto de Boro Cúbico

Atualmente existem dois tipos de diamantes utilizados na construção de ferramentas para usinagem: o natural (monocristalino) e o sintético (PKD – poli-cristalino).

Depois do diamante, os cristais cúbicos de nitreto de boro são materiais mais duros que se conhece. Trata-se de um material sintético, obtido pela reação de halogenetos de boro com amoníaco. A estrutura cristalina é idêntica a do diamante.

O diamante policristalino assim como nitreto de boro cúbico policristalino são obtidos pela transformação do gralite e nitreto de boro de estrutura hexagonal em estrutura cúbica, sob pressão de 5000 e 9000 Mpa, e temperaturas de 1500 a 1900°C, na presença de um catalizador (geralmente lítio) respectivamente [6]. As informações sobre este assunto não são dadas detalhadamente pois eles não pertencem ao enfoque principal deste trabalho.

2.8. CONFIABILIDADE

A confiabilidade estuda as falhas que podem ocorrer com o produto durante o seu ciclo de vida, ou seja não é um simples cálculo da taxa de falha ou da probabilidade de um componente ou sistema falhar, mas sim a procura, análise, avaliação e correção de todas as falhas que podem ocorrer com o produto, em todo o seu ciclo de vida [26].

Embora existam várias definições sobre confiabilidade, a mais utilizada é:

“Confiabilidade é a probabilidade de que um item desempenhe a sua função pretendida sem falhar, sob determinadas condições especificadas e por um determinado período de tempo especificado” [32].

O exemplo a seguir esclarece esta definição.

Uma ferramenta de geometria definida é um produto que pode possuir uma confiabilidade de 99,9% durante algum tempo e em condições determinadas, assim como: o uso dos parâmetros adequado (máquina rígida), baixas vibrações e menor atrito. Se uma destas condições variar, a confiabilidade da ferramenta também pode variar.

Portanto, a confiabilidade não é apenas a probabilidade de um item não falhar, mas também o estudo de todos os fatores que contribuem para a ocorrência da falha.

As várias técnicas de confiabilidade que são aplicadas na determinação da vida de uma ferramenta de corte, existem a fim de evitar que as falhas ocorram quando a ferramenta é utilizada pelo operador.

Mas mesmo aplicando-as, elas ocorram devido à dificuldade de predizer com certeza, todas as falhas e os fatores que levaram-na a ocorrer.

Devido a este motivo, o comportamento da ferramenta caracterizada pelo seu desgaste no flanco é uma das etapas mais importante na análise de confiabilidade, para que nós saibamos o que está acontecendo com os produtos fornecidos pelos fabricantes.

Neste trabalho será abordada apenas a análise de confiabilidade no comportamento da ferramenta através dos dados de desgaste no flanco da ferramenta e não trata do problema com relação a especificar critérios de falha.

O estudo de confiabilidade do progressão da marca de desgaste em ferramentas de corte exige o conhecimento de conceitos básicos de estatística.

Para facilitar o entendimento da discussão efetuada neste trabalho, a seguir são apresentados estes principais conceitos.

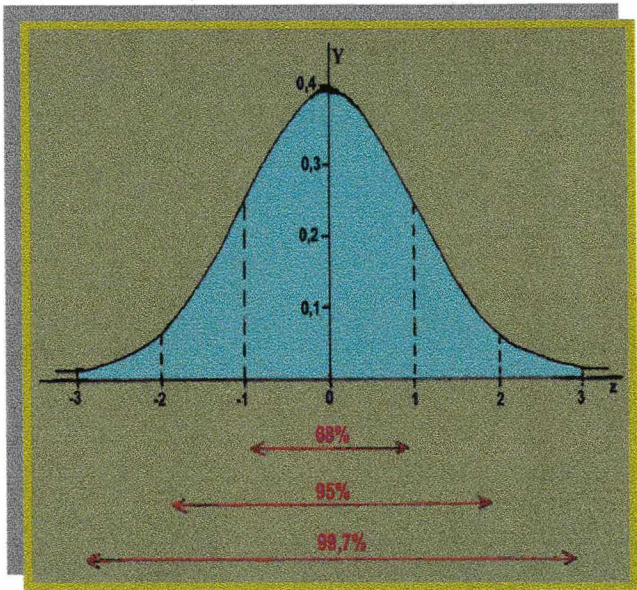
2.8.1. Conceitos Estatísticos

Todos os fenômenos cuja ocorrência só pode ser prevista de um modo probabilistico são fenômenos aleatórios [32]. Um dos mais importantes exemplos de uma distribuição contínua de probabilidade é a distribuição ou a curva normal, ou a distribuição de Gauss definida pela equação:

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2z^2} \dots\dots\dots [1]$$

A função de probabilidade para uma variável aleatória, é representada na figura 11. Nesse caso, diz-se que “ *z normalmente distribuído com média zero e variância 1*”. Um gráfico com uma curva normal é indicada na figura 11, onde estão indicadas as áreas incluídas entre *z* = -1 e +1, *z* = -2 e +2, *z* = -3 e +3, iguais respectivamente, a 68%, 95% e 99,7% da área total, que é unitária.

A função de probabilidade para uma variável aleatória, é mostrado na figura 11.



O nível de confiabilidade requerido de um elemento varia conforme a sua aplicação, a responsabilidade que tem sobre o perfeito funcionamento do sistema a que está acoplado, bem como a importância deste sistema [28].

Figura 11 – Função de probabilidade para uma variável aleatória

Uma classificação aproximada quanto aos produtos ou sistemas pode ser feito quanto a taxa média de falhas, como mostra na tabela 2.

CLASSE DO PRODUTO	TAXA DE FALHAS (falhas/hora)
I	$\leq 2,5 \cdot 10^{-6}$
II	$\leq 10 \cdot 10^{-6}$
III	$\leq 40 \cdot 10^{-6}$
IV	$\leq 160 \cdot 10^{-6}$

Tabela 2 – Classes de produtos [32]

A classe I refere a um produto de uma alta confiabilidade, em que uma falha representa um fato que deve ser evitado de qualquer modo. Pode-se exemplificar com eletrodomésticos onde o fabricante garante uma durabilidade > 1 ano ($> 0,4 \cdot 10^6$ min). As classes II e III são produtos onde o estudo da confiabilidade deve ser feito a um nível menos criterioso, levando em consideração os fatores mais importantes sob ponto de vista da confiabilidade [32].

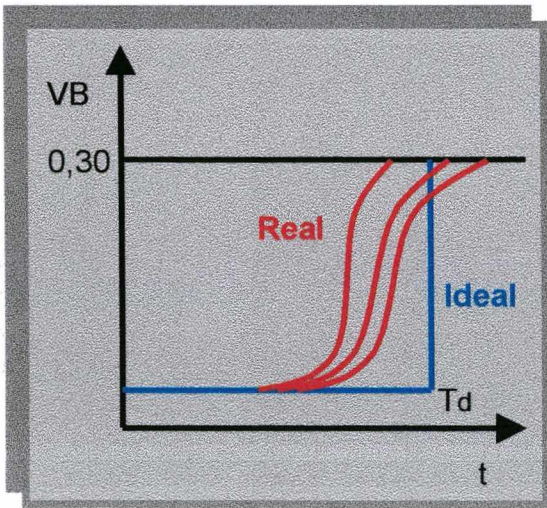
A classe IV se aplica em sistemas de uso comum, que podem prescindir de uma quantificação da confiabilidade, quando o custo de reparo ou manutenção não for importante.

No caso contrário, em produtos de mercado onde é dada uma garantia, o custo dispendido com esta exige um estudo da confiabilidade do produto [27]. Sempre que dispormos de dados deve ser feito um estudo econômico para a especificação do nível de confiabilidade a ser usado. A confiabilidade de uma ferramenta é caracterizada pelo desgaste do flanco médio. Assim o valor do $VB_{MÉD}$ pode ser considerado como uma indicação da qualidade do produto.

A diminuição da camada de revestimento na ferramenta aumenta a chance de falha, com uma confiabilidade cada vez menor e na ferramenta passa a dominar o modo de falha. Mesmo sendo o desgaste da ferramenta bastante excessivo num tempo relativamente curto, o desgaste tem um caracter aleatório e assim não há uma queda imediata da confiabilidade.

A variação da confiabilidade devido ao desgaste, no caso ideal, de desgaste instantâneo e no caso real, é apresentada na figura 12. A partir da derivada da confiabilidade podemos determinar a função densidade de probabilidade também para o

caso do desgaste.



No caso ideal há uma discontinuidade e o desgaste VB será zero para qualquer instante de T e infinito em T_d . O tempo T_d é a vida média ou tempo médio para obtenção de um determinado desgaste, em torno do qual há uma maior ou menor dispersão no comportamento da ferramenta. Quando esta dispersão tende a zero, a distribuição do comportamento da ferramenta

Figura 12 – Função densidade de probabilidade para efeito de desgaste

tende para a distribuição ideal, sem dispersão, com valor T_d .

CAPÍTULO 3

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

3.1. DEFINIÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE

O torneamento com ferramentas de metal duro revestido é cada vez mais freqüente na indústria metal mecânica. Para poder atender as necessidades da indústria local foram escolhidas ferramentas de ampla utilização no mercado brasileiro.

No escopo de um trabalho cooperativo entre o LMP e a Iscar do Brasil foram disponibilizadas ferramentas revestidas TNMG, conforme a tabela 3.


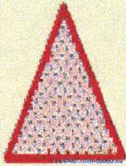
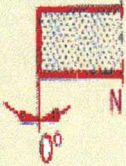
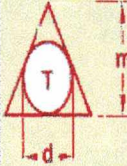
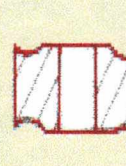
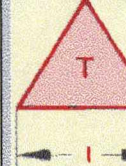
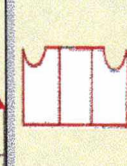
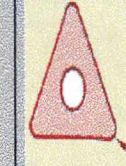
 TNMG	T	N	M	G	16	04	08
	Formato da pastilha	Ângulo de incidência	Tolerâncias	Geometria de corte e fixação	Largura do gume de corte	Espessura da pastilha	Raio de quina
							

Tabela 3 – Codificação para Ferramentas TNMG [ISO 1832]

As ferramentas com geometria TNMG 16 04 08 utilizada neste trabalho, contem duas faces e três gumes em cada face. De acordo com a ISO 1832, sete códigos identificam a geometria da ferramenta de seguinte maneira:

- 1. **T**: identifica a forma triangular da ferramenta;
- 2. **N**: identifica o ângulo de incidência = 0.
- 3. **M**: identifica a tolerância com os desvios admissíveis em mm, que segundo a norma ISO 1832, d = 9,525 mm; l = 16 mm; s = 4,76 mm.

- 4. **G**: identifica as características da geometria de corte e fixação;
- 5. **16**: identifica a largura ou o comprimento do gume da ferramenta;
- 6. **04**: identifica a espessura da pastilha; e
- 7. **08**: identifica o raio de quina da pastilha.

A pastilha TNMG contem furo no centro e apresenta quebra-cavacos feitos durante a conformação. O seu ângulo de quina é 60°. É possível empregar todos os seus gumes das duas faces. Na sua utilização a pastilha é fixada num suporte padronizado de ferramenta, como mostra na tabela 4.

								
M	T	J	N	R	25	25	M	16
Forma de fixação	Forma Triangular da pastilha	Ângulo de posição	Ângulo de incidência negativo	Direção de trabalho Direito	Altura do suporte (mm)	Largura do suporte (mm)	Comprimento do suporte (mm)	Tamanho da pastilha (mm)
								

Tabela 4 – Porta-Ferramentas para a Usinagem Externa [ISO 1832]

As codificações ISO do porta-ferramentas MTJNR 2525M16 identificam a geometria do suporte e da ferramenta de seguinte maneira:

- M**: identifica a forma de fixação da pastilha por parafuso no lado de cima;
- T**: identifica o formato básico da pastilha;
- J**: identifica o ângulo de entrada do suporte;
- N**: identifica o ângulo de incidência da pastilha;

R: identifica a direção do trabalho no sentido direito;

25: identifica a altura do porta-ferramentas (mm);

25: identifica a largura do porta-ferramentas (mm);

M: identifica o comprimento do porta-ferramentas; e

16: identifica o tamanho da pastilha (mm).

Este sistema de fixação para a ferramenta TNMG deve preencher as seguintes exigências:

1. Após a troca ou retirada a pastilha deve ser fixa na mesma posição;
2. Durante a usinagem a ferramenta não deve mudar a sua posição como decorrência da força de usinagem;
3. O sistema de fixação deve garantir, que o calor gerado no corte, seja transmitido facilmente para o suporte; e
4. A força de usinagem deve ser transmitida de tal forma ao suporte, que ele ajude a centrar a ferramenta de corte.

3.2. DEFINIÇÃO DO CORPO DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados para o torneamento longitudinal, como mostra na figura 13.

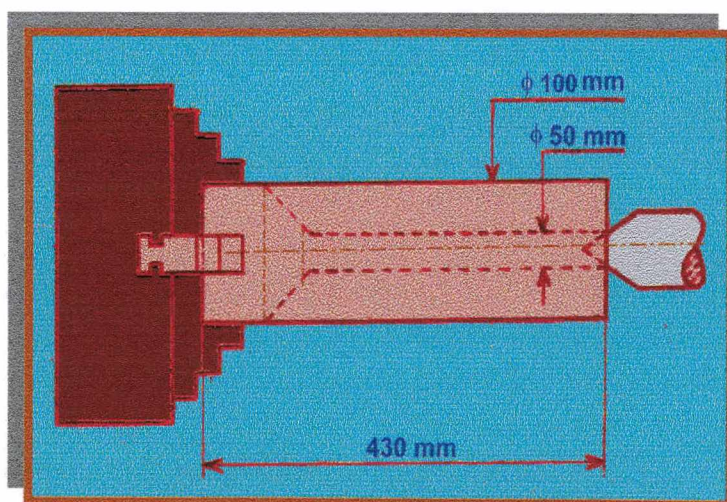


Figura 13 — Representação esquemática da fixação do corpo de prova no torno

O material que foi utilizado neste trabalho é um aço de baixo carbono ressulfurado (NB 1213), obtido no escopo de um convênio cooperativo entre o LMP e a Gerdau SA. Este aço contém inclusões de sulfeto de manganês (MnS) que atua como lubrificante interno.

Os ensaios de usinagem foram executados na oficina do Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC. Os corpos de prova são tarugos de aço de 100 mm de diâmetro e 430 mm de comprimento. Eles são preparados para serem fixos entre placa e contra ponta rotativa durante a usinagem. Para atingir as velocidades estipuladas e evitar vibrações excessivas na peça, o diâmetro final foi limitado em 50 mm.

3.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

3.3.1. Torneamento

A escolha do processo de torneamento para o trabalho proposto é decorrente do menor número de variáveis influentes no processo. A variação da velocidade de corte ao longo da parte ativa da ferramenta pode ser desconsiderada, ao passo que na furação, por exemplo, a velocidade de corte é máxima na periferia e nula no centro. O avanço é constante, ao passo que no fresamento, por exemplo, o avanço é variável durante a ação de corte. As condições genéricas de usinagem no torneamento são mostrados na figura 14.

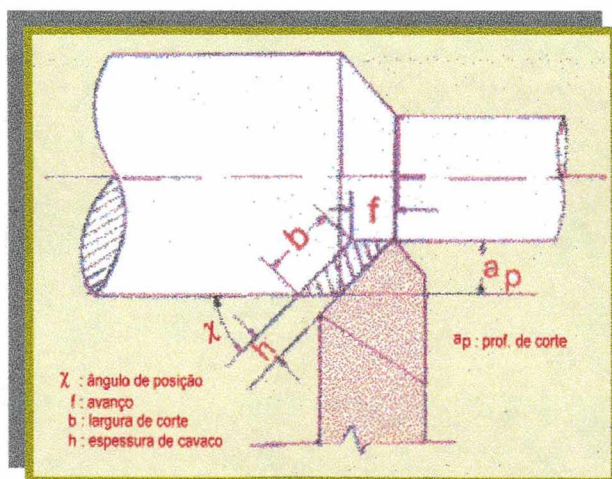


Figura 14 – Condições de usinagem no torneamento longitudinal [16]

O torneamento é um processo com um movimento principal rotativo. Em regra geral a peça é que executa o movimento rotativo, ao passo que a ferramenta executa o avanço.

Distingue-se como torneamento longitudinal porque o avanço é paralelo ao eixo de rotação da peça. O produto da profundidade de corte pelo avanço (f) é denominado como seção de usinagem. O quociente da largura de corte (b) e a espessura do cavaco (h) é definido como sendo o índice de Esbeltez.

Em ensaios prévios verifica-se que até a velocidade de corte de $v_c = 250$ m/min o mecanismo de desgaste dominante é o desgaste de flanco. O desgaste de cratera apenas se torna visível no caso de avarias no revestimento da face (lascamentos e quebras do gume).

Os parâmetros selecionados para este trabalho são, profundidade de corte, $a_p = 2,0$ mm e avanço, $f = 0,2$ mm com a velocidade de corte, $v_c = 250$ m/min. As outras grandezas tecnológicas b e h , são correlacionados pelo ângulo de posição (χ). Para o ângulo de posição $\chi = 93^\circ$, b e h podem ser considerados iguais a a_p e f , respectivamente.

3.3.2. Máquina-Ferramentas

No torneamento com ferramenta de metal duro revestido a faixa de velocidade de corte recomendada para a usinagem do aço NB 1213 se situa entre 150 e 300 m/min. Dentre as máquinas-ferramentas disponíveis no Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, o torno I 45 – Romi é o que melhor se adequa a este trabalho. As características principais da máquina são descritas abaixo.

- Modelo: I-45;
 - Fabricante: Indústrias Romi S.A.;
 - Distância entre pontas: 2000 mm;
 - Diâmetro admissível sobre o barramento: 620 mm;
 - Potência instalada: 30 kW e o Torque admissível: 12.75 kNm;
 - Gama de velocidades: 20 a 2500 rpm (contínuo);
 - Avanços longitudinais: 0,050 a 18 mm/rot;
 - Avanços transversais: 0,017 a 6 mm/rot.
-

3.4. EQUIPAMENTOS AUXILIARES

A variação da geometria da ferramenta foi estabelecida através da medição de desgaste do flanco médio ou $VB_{MÉD}$. Para medir o desgaste da ferramenta foi utilizado um microscópio de ferramentaria, figura 15.

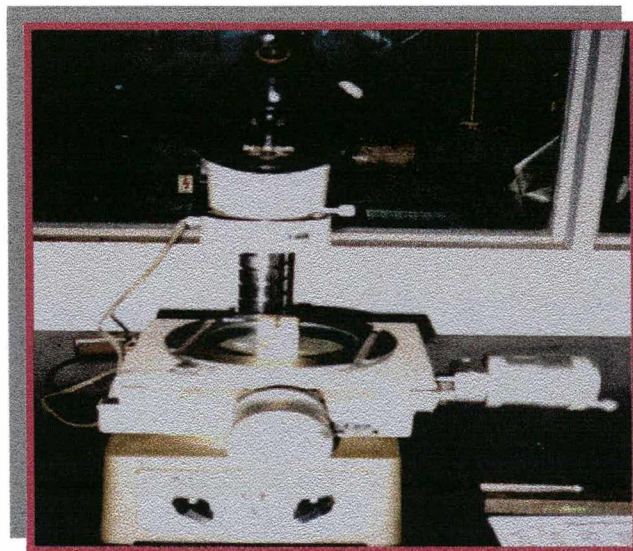


Figura 15 – Microscópio de ferramentaria para medir o desgaste do flanco

As características principais do microscópio de ferramentaria são:

- Fabricante: Nikon-Japão;
- Modelo: Mesuriscopes;
- Mesa micrométrica com campo de medição: 50 x 100 mm; e
- Resolução da mesa micrométrica: 0,001 mm.

Além do microscópio foram utilizados também outros equipamentos auxiliares assim como: paquímetro (0 – 150 mm Mitutoyo, resolução 0,1 mm) e cronometro (Casio resolução 0,01 s).

Os dados colhidos foram armazenados eletronicamente para análise posterior dispondo-se de um microcomputador pentium 200 MHz equipado com impressora, *scanner* e devido ao grande número de dados, foi utilizado também um *zip drive*.

Atendendo as normas de segurança o desenvolvimento dos trabalhos exigem o uso de óculos de segurança e luvas de couro.

3.5. PREPARAÇÃO PARA OS ENSAIOS

Para uma operação do torno com os parâmetros escolhidos, foi feito uma calibração da rotação do torno. Os resultados de calibração foram ajustados com um modelo linear e os resultados são mostrados na tabela 5.

Indicação	Rotação da Placa/Rp [rpm]	Rotação do Motor/RM [rpm]
530	617 a 924	3.2443* rpm + 0,2342
750	877 a 1315	2.2821* rpm – 1.13408
1060	1232 a 1846	1.6262* rpm – 3.30761

Tabela 5 – Equações de Correção para a Rotação do Motor

Para ajustar a rotação do motor, os valores mostrados na tabela são corrigidos no modelo de ajuste linear:

$RM = a \cdot Rp + b$

Onde:

- RM: é a rotação do motor;
- Rp: é a rotação da placa;
- a: coeficiente angular;
- b: coeficiente linear.

Para garantir um funcionamento adequado do motor de corrente contínua do torno, estabelece-se a faixa de operação do mesmo em $RM \geq 2000$ rpm, limitado em 3000 rpm.

3.6. PARÂMETROS DE USINAGEM

a). A velocidade de corte v_c é a velocidade instantânea no ponto de referência da peça segundo a direção e o sentido de corte.

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \dots\dots\dots [2]$$

onde:

v_c : velocidade de corte

D: diâmetro [mm]

n: rotação [RPM]

π : 3.14

Três posições da caixa de velocidades foram as principais utilizadas para ajustar a rotação do motor de acordo com o diâmetro do corpo da prova.

A posição de menor número foi utilizada no diâmetro do corpo de prova de 100 mm até 88 mm e a maior no diâmetro de 64 mm até 50 mm.

Neste trabalho foi escolhido uma única velocidade de corte, $v_c = 250$ m/min e os outros parâmetros de corte foram mantidos constantes.

b). A condição de trabalho escolhido é de desbaste leve. Para atender as limitações da ferramenta de corte, foi estabelecido uma penetração de avanço de 0,2 mm.

c). Para atender um índice de esbeltez de cavaco (a_p/f), e economia de matéria prima define-se a profundidade de corte em 2 mm. Além disto, para um raio de quina de 0,8 mm é respeitado a profundidade mínima de $2,5 \times r_\epsilon$, e assim garantir uma interpretação dos resultados não influenciada pelo raio de quina.

3.7. METODOLOGIA DE ENSAIO

O ensaio de torneamento visa estabelecer o desgaste da ferramenta. Para permitir uma avaliação da progressão do desgaste da ferramenta o ensaio do torneamento deve ser interrompido em tempos pre-estabelecidos e o desgaste da ferramenta é avaliado nos equipamentos adequados.

Para padronizar a anotação dos resultados, foram elaboradas planilhas:

1. Planilha de Observações: nesta planilha estão descritas o diâmetro do corpo de prova (100 – 50 mm), a rotação da placa (Rp), indicação, rotação do motor (RM) e as informações sobre os acontecimentos principais durante a usinagem.

PLANILHA DE OBSERVAÇÕES				
Máquina:	f = 0,2 mm			LMP
Data:	a _p = 2,0 mm			
Operador:	Fluido de corte: Sem			
Ø (mm)	R _p [rpm]	Indicação	RM [rpm]	Observações
100	796,2	530	2583	
96	829,4	“	2691	- 10 min. Cavaco
92	865,4	“	-	dourado sem
88	904,8	“	-	fiscamentos.
84	947,8	750	2162	
80	-	“	-	- 90 min. Cavaco
76	-	“	-	azul escuro e
-	-	“	-	menor fиска-
64	1244	1060	2020	mento.
-	-	“	-	
50	-	“	-	

Tabela 6a – Planilha de inscrição dos dados e observação dos acontecimentos

2. Planilha de Desgastes: nesta planilha estão descritas os desgastes para os tempos de corte de (5 – 100 minutos).

No início do ensaio com cada pastilha os intervalos de tempo são menores. Isto permite identificar os desgastes anômales (lascamentos de revestimento, por exemplo) após 5 ou 10 minutos de usinagem e interromper o ensaio, caso necessário. Uma vez que o desgaste estabiliza, o comportamento de desgaste é mais regular, e os intervalos podem ser aumentada.

PLANILHA DE DESGASTES			
Máquina:	f = 0,2 mm	LMP	
Data:	a _p = 2,0 mm		
Operador:	Fluído de corte: Sem		
Tempo	VB _{MÉD}	VB _{MÉD} MÁX	VB _{MÁX}
5	0,09	0,10	0,11
10	-	-	-
20	-	-	-
30	-	-	-
40	-	-	-
50	-	-	-
70	-	-	-
90	-	-	-
100	0,30	0,42	0,50

Tabela 6b – Planilha de inscrição dos dados de desgaste

Para cada intervalo de tempo, a ferramenta é retirada do seu suporte e é levada ao microscópio para medir o desgaste, como mostra na figura 16.

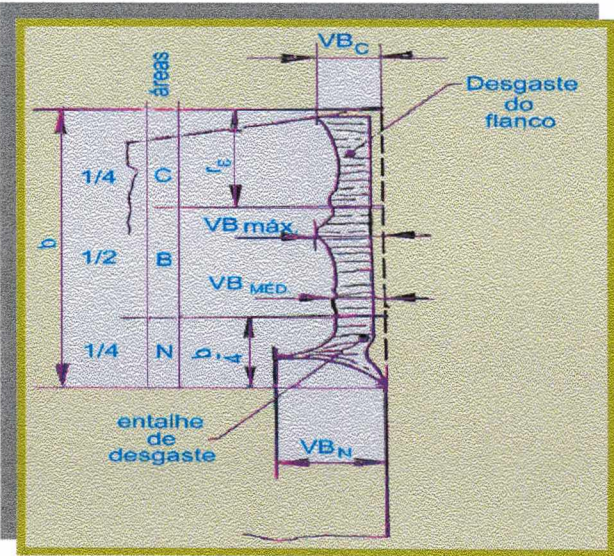


Figura 16 – A medição do desgaste da ferramenta [13]

A medição do desgaste da ferramenta é efetuada de acordo com a figura 16. A largura de desgaste é dividida em três regiões: C, B e N. Na região C é medido o desgaste de quina. Na região B é medido o desgaste de flanco VB_{MÉD} e VB_{MÁX}. Na região N é medido o desgaste de flanco VB_N. Neste trabalho avalia o desgaste do flanco VB (médio e máximo). Antes do reposicionamento da ferramenta, deve ser efetuada a limpeza dos alojamentos devido à

sujeiras, assim como, cavacos moídos e carepas que podem alterar a posição da ferramenta e afeta sua operação normal.

3.8. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios de usinagem foram executados de acordo com o planejado. O suporte de ferramenta foi mantido normalmente ao eixo de rotação, para que o ângulo de posição de pastilha fosse garantida em $\chi = 93^\circ$, como mostra a figura 17.

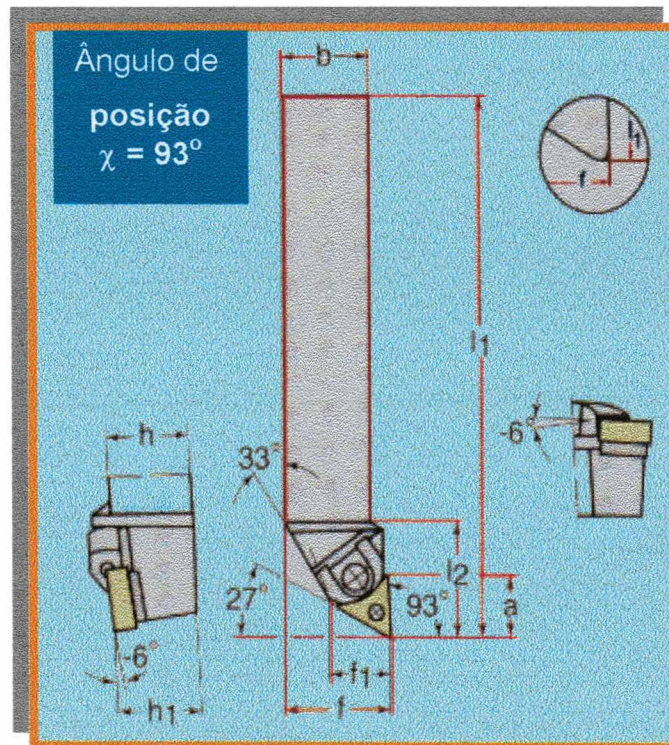


Figura 17 – As dimensões do porta-ferramentas [ISO 1832]

A pastilha é montada sobre o suporte devidamente limpo e o parafuso de fixação é apertado normalmente com a chave recomendada pelo fabricante para pastilhas com raio 04 e 08, como mostra na tabela 7.


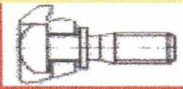
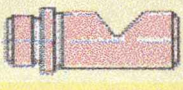


Tipo	a [mm]	f [mm]	f ₁ [mm]	l ₁ [mm]	l ₂ [mm]
TNMG	14,6	32	17,3	150	30,8
	Tamanho 16	Componentes para pastilhas com (r 04 e 08)			
Calço	AP 147				
Cunha/Parafuso	FK 303				
Pino	RS 106				
Parafuso do pino	FS 358				
Chave adequada					

Tabela 7 – Os componentes de fixação da pastilha [ISO 1832]

O corpo de provas foi montado entre placa e contra ponto e desbastado, para que se possa garantir uma qualidade homogênea de material e concentricidade da superfície e eixo de rotação.

Tomou-se cuidados na fixação do corpo de prova na placa, garantindo também um aperto moderado do contra ponto rotativo. Para evitar a perda de pressão de contato do contra ponto rotativo, o mangote é travado na posição final. Em seguida a rotação do motor é ajustada para se obter a velocidade periférica de 250 m/min.

O avanço é selecionado para 0,2 mm. Ajusta-se a profundidade de corte em 2 mm, fora do corpo de provas. Manualmente a ferramenta é levada até a posição imediata anterior ao início de corte.

Em seguida aciona-se o avanço automático e simultaneamente aciona-se o cronômetro. Numa distância de segurança antes da placa o avanço é desligado automaticamente (simultaneamente interrompe-se a contagem de tempo) e recua-se a ferramenta radial e axialmente.

Ajusta-se uma nova rotação e profundidade de corte e repete-se esta operação até atingir o tempo preestabelecido na planilha. Neste tempo interrompe-se o ensaio e procede-se a medição de desgaste.

A continuação do ensaio se dá repetindo-se as operações anteriores, repetindo-se as limitações estabelecidas no planejamento experimental. Todos os resultados dos ensaios foram anotados nas planilhas para análise posterior.

Caso não ocorrer uma falha na ferramenta, o ensaio é interrompido para o tempo de corte de 100 minutos.

O posicionamento correto da ferramenta foi de maior cautela e a mesma foi fixada com a chave adequada à ferramenta. Cuidado também foi dado aos calços, para que não se danifiquem porque eles podem proporcionar um apoio insuficiente para a ferramenta e aumenta o risco nas rupturas dos gumes.

Durante os ensaios os calços não foram danificados. Mas caso isto acontecer, eles deveriam ter sido substituídos.

No final dos ensaios, segundo o planejado, todos os instrumentos utilizados foram recolhidos enquanto os dados coletados, foram armazenados no computador em cada etapa de ensaio.

No capítulo 4 são apresentados os resultados dos ensaios.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1. COMPORTAMENTO MÉDIO DOS SEIS ENSAIOS

A tabela 8 mostra os respectivos valores numéricos de todas as medições do desgaste de flanco para os tempos de ensaios até 100 minutos.

DESGASTE DE FLANCO VB						
Tempo (minutos)	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09
10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11
20	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,13
30	0,18	0,20	0,16	0,21	0,16	0,16
40	0,21	0,22	0,20	0,23	0,18	0,19
50	0,23	0,23	0,21	0,25	0,20	0,21
70	0,28	0,25	0,27	0,28	0,26	0,25
90	0,29	0,29	0,29	0,29	0,38	0,28
100	0,30	0,31	0,30	0,34	-	0,32

Tabela 8 – Valores de desgaste de flanco para as ferramentas ensaiadas

Uma análise preliminar mostra os resultados do comportamento da evolução do desgaste da ferramenta que foram testadas e que não são iguais, mostrado no gráfico 1.

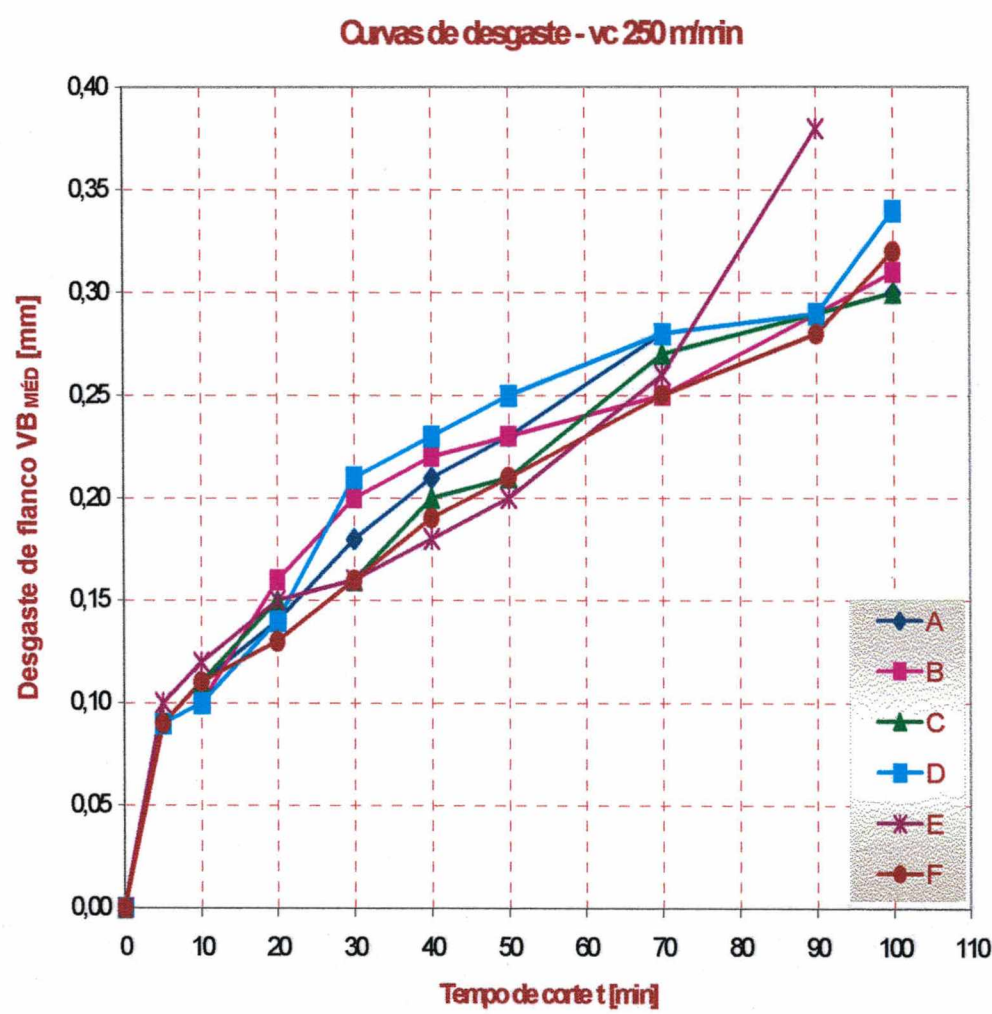


Gráfico 1 – Comportamento de desgaste dos seis gumes ensaiados

Para ter uma idéia do comportamento do desgaste das ferramentas de corte revestidas, inicialmente apresenta o comportamento evolução do desgaste dos seis gumes ensaiados.

Observa-se que o comportamento de desgaste é semelhante, porém para tempos de corte acima de 20 minutos se observam variações sensíveis da marca de desgaste, gráfico 1. Apenas 1 ensaio foi interrompido antes dos 100 minutos, devido ao desgaste excessivo da ferramenta. Os demais foram levados até 100 minutos preestabelecidos como limite. Para estas ferramentas a maior marca de desgaste foi de $VB = 0,34\text{ mm}$ e a menor $VB = 0,30\text{ mm}$.

Partindo-se da presuposição, que o desgaste do gume obedeça uma distribuição gaussiana, pode-se, para a família das seis curvas, estabelecer o valor médio do desgaste para cada ponto e determinar os limites superior e inferior de $(\pm 3\sigma)$, estabelecendo assim o intervalo para o qual pode-se garantir com certeza de 99,7% que a marca de desgaste de todas as ferramentas situa-se neste intervalo, gráfico 2.

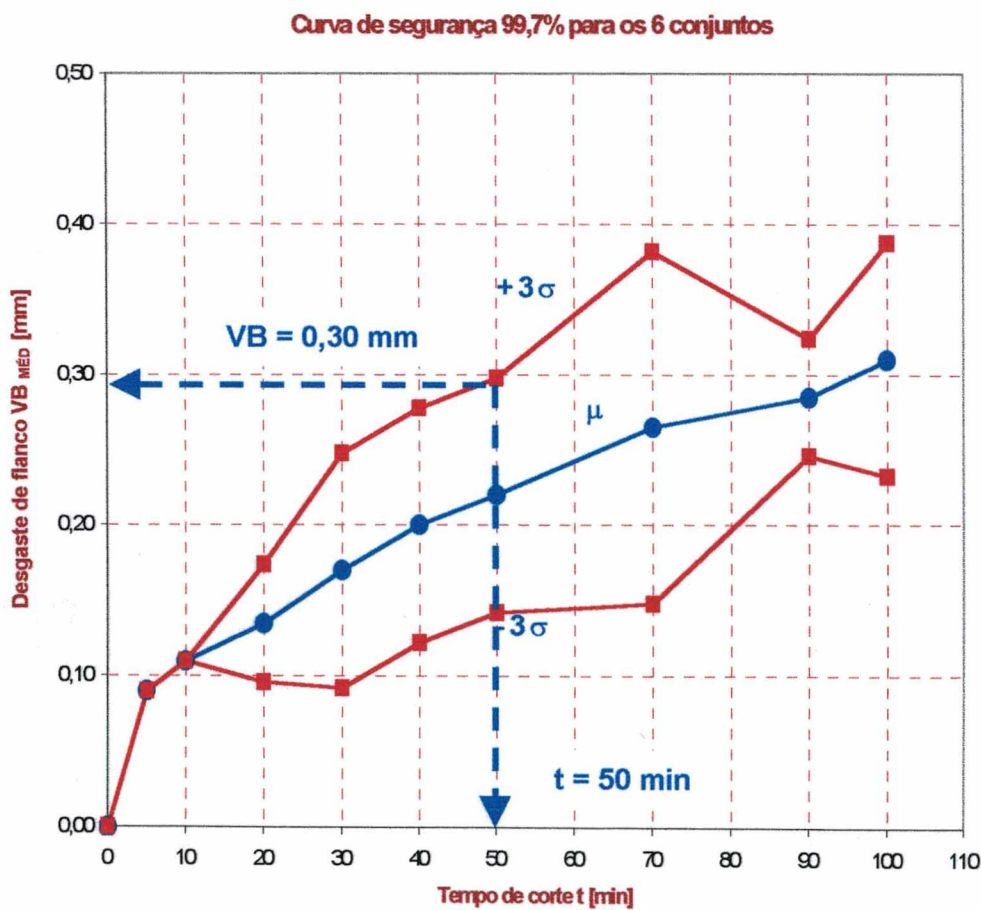


Gráfico 2 – A média de desgaste e a dispersão dos seis gumes

Os desgastes do flanco $VB_{MÉD}$ foram combinados aleatoriamente aplicando os métodos estatísticos. Foram definidos 6 conjuntos de desgastes. Por exemplo, o gume A foi considerado como conjunto A.

Observam-se valores crescentes da dispersão dos resultados, principalmente para marcas de desgaste maiores que 0,2 mm.

Para verificar se para um número menor de ensaios também podem se tirar informações conclusivos é feito uma análise dos resultados das medições de desgaste agrupando-se os mesmos 2 – 2, 3 – 3, 4 – 4 e 5 – 5, comparando-se os resultados com os obtidos nesta análise inicial.

Os seis gumes que foram utilizados são considerados como conjuntos A, B, C, D, E e F.

Estabelecendo-se uma marca de desgaste limite de 0,3 mm, pode-se afirmar, com a segurança de 99,7% que a vida da ferramenta é de 50 minutos exemplificada para a combinação 2 a 2 para os ensaios A e B.

Os dados de desgaste do flanco médio $VB_{MÉD}$, coletados durante o ensaio, foram analisados através de duas equações.

A equação [2] é aplicada para determinar a média de cada combinação.

A equação [3] permite calcular o desvio padrão de cada combinação.

$$\overline{VB_{ABt}} = \frac{VB_{At} + VB_{Bt} + \dots + VB_{An} + VB_{Bn}}{n} \quad [2]$$

Onde:

$\overline{VB_{ABt}}$ = a média de desgaste A e B para o tempo t.

VB_{At} = desgaste de A para o tempo t

VB_{Bt} = desgaste de B para o tempo t

n = números de ensaios (1 a 6)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(VB_{A1} - \overline{VB}_{AB})^2 + \sum(VB_{B1} - \overline{VB}_{AB})^2 \sum(VB_{An} - \overline{VB}_{AB})^2 + \sum(VB_{Bn} - \overline{VB}_{AB})^2}{n - 1}} [3]$$

Onde:

σ = desvio padrão

Σ = somatória

4.2. COMBINAÇÃO DOIS À DOIS

Os seis ensaios permitem 15 combinações de 2 à 2. Na primeira etapa foram feitos 5 combinações entre o conjunto A com os conjuntos B, C, D, E e F, figura 18.

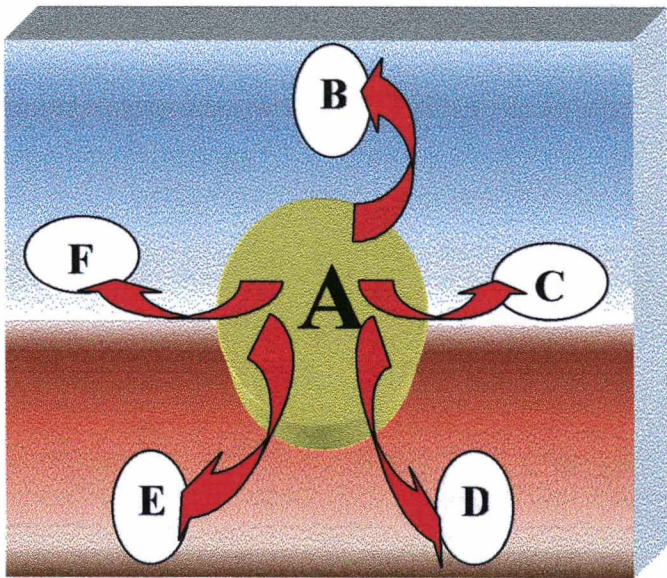


Figura 18 – Combinações de dois à dois

Na seqüência são apresentadas as combinações possíveis entre o conjunto B com os conjuntos C, D, E e F, figura 19. Da mesma forma o conjunto D é combinado com os conjuntos E e F e o conjunto E combinado com o conjunto F, figura 20 e 21.

Os resultados dos valores médios bem como dos desvios padrão calculados para esta combinação de resultados são apresentados na sua totalidade no Anexo I.

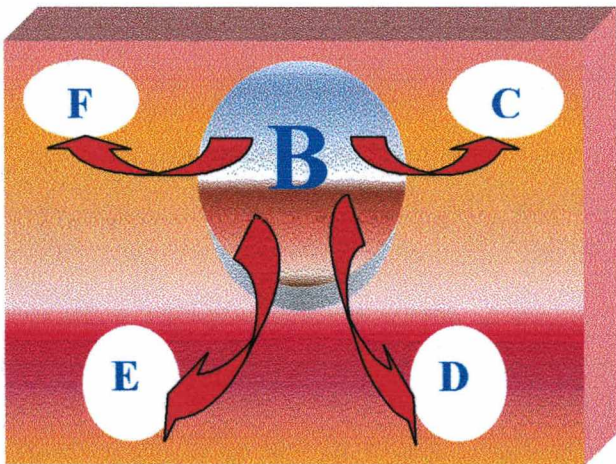


Figura 19 – Combinações de dois à dois

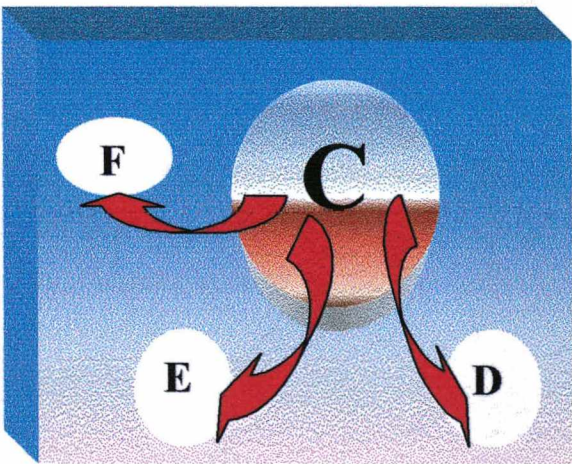


Figura 20 – Combinações de dois à dois

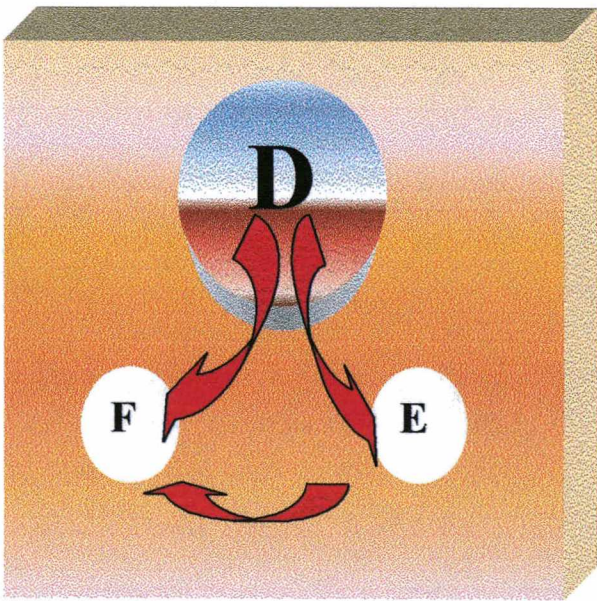


Figura 21 – Combinações de dois à dois

4.3. COMBINAÇÃO TRÊS À TRÊS

Os seis conjuntos de resultados agrupados 3 à 3 permitem combinar os conjuntos AB com os conjuntos C, D, E e F, figura 22.

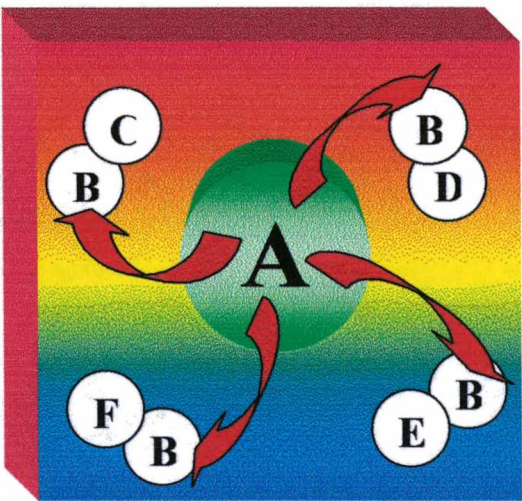


Figura 22 – Combinações de três à três

Os conjuntos AC podem ser combinados com os conjuntos D, E e F, figura 23. Os conjuntos AD podem ser combinados com os conjuntos E e F e os conjuntos AE podem ainda serem combinados com o conjunto F, figura 24.

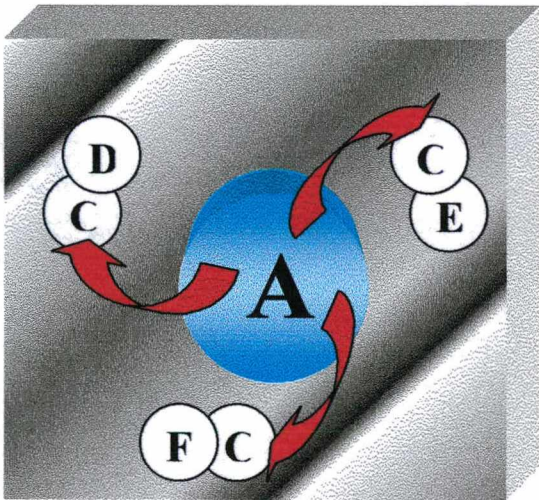


Figura 23 – Combinações de três à três

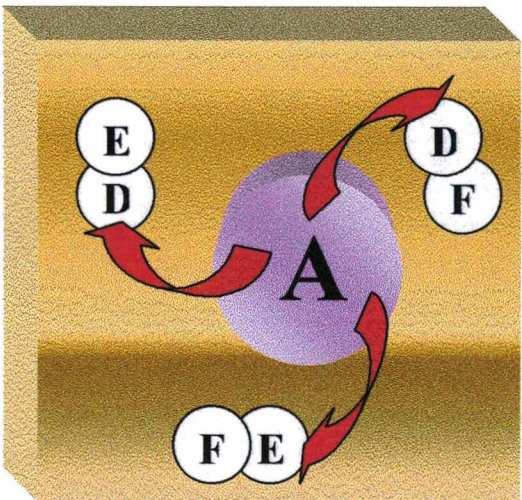


Figura 24 – Combinações de três à três

Os conjunto BC podem ser combinados com os conjuntos D, E e F, figura 25. Os conjuntos BD com os conjuntos E e F, e os conjuntos BE com o conjunto F, figura 26. Os conjuntos CD são associados aos conjuntos E e F e o conjunto D ainda com os conjuntos E e F, figura 27, resultando em 20 possíveis combinações.

Os gráficos dos resultados das combinações 3 à 3 estão apresentados no anexo II e exemplificado aqui com os resultados de combinação dos conjuntos ABC (ANEXO II (ABC)).

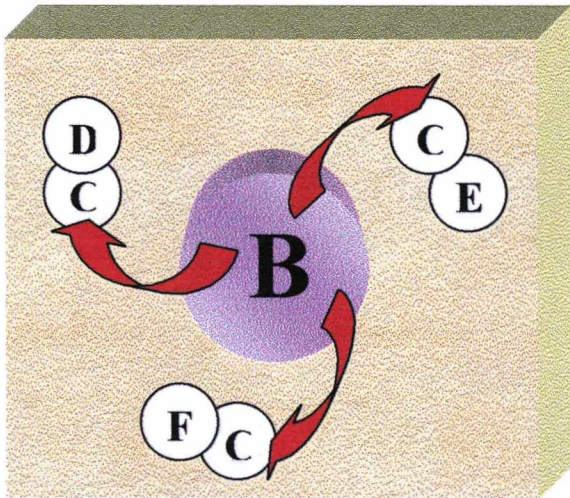


Figura 25 – Combinações de três à três

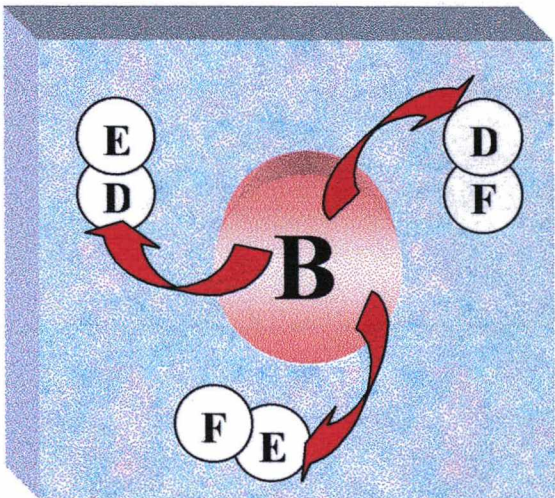


Figura 26 – Combinações de três à três

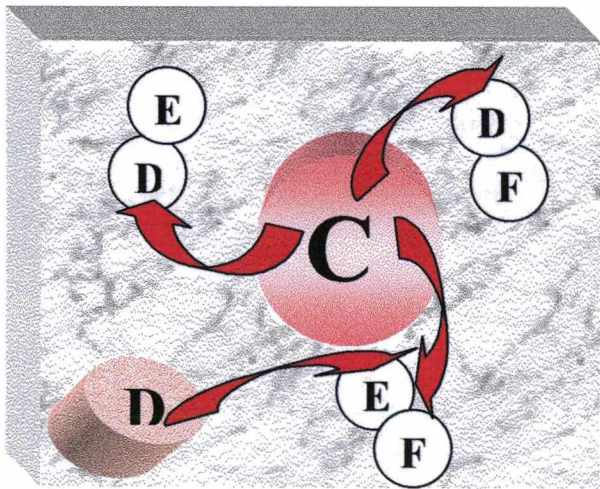


Figura 27 – Combinações de três à três

4.4. COMBINAÇÃO QUATRO À QUATRO

A combinação 4 à 4 permite a obtenção de 15 combinações como mostra nas figuras 28, 29, 30 e 31. Os gráficos das combinações 4 à 4 estão apresentados no ANEXO III. Aqui se exemplifica os resultados pela apresentação dos conjuntos ABCD.

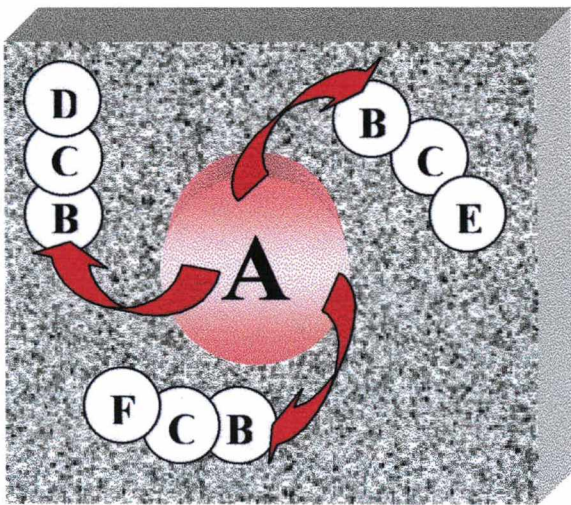


Figura 28 – Combinações de quatro à quatro

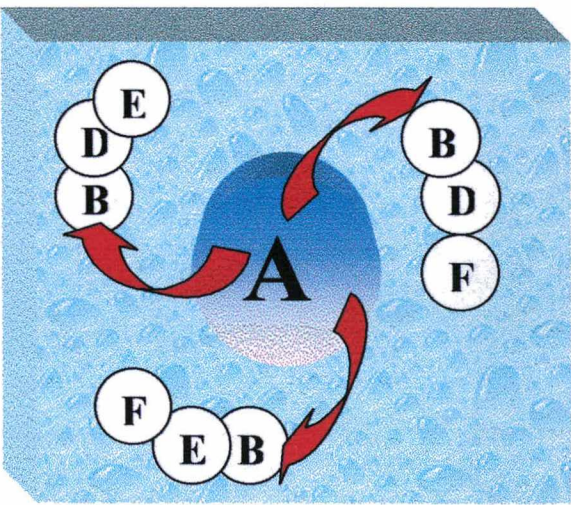


Figura 29 – Combinações de quatro à quatro

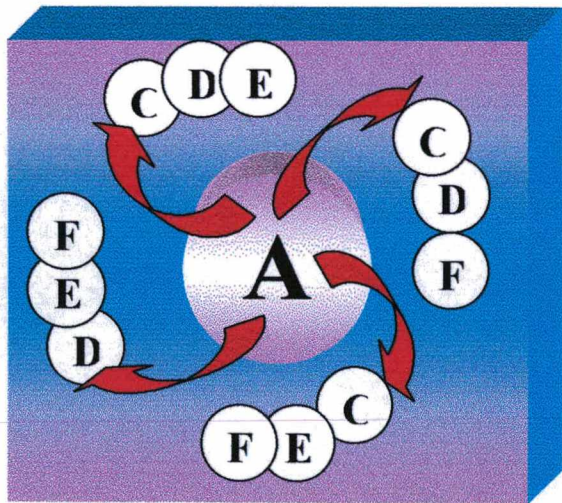


Figura 30 – Combinações de quatro à quatro

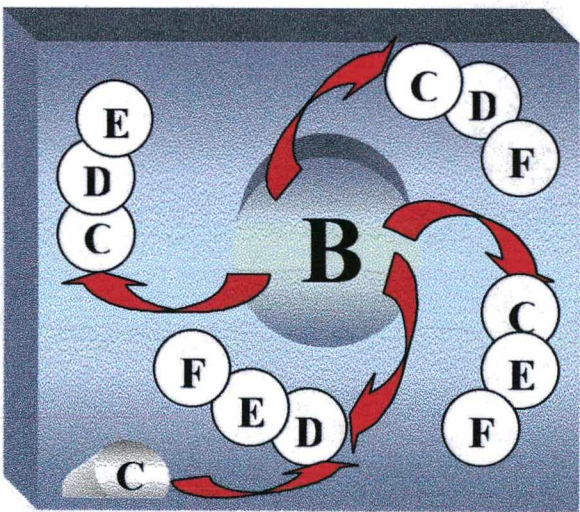


Figura 31 – Combinações de quatro à quatro

4.5. COMBINAÇÃO CINCO À CINCO

A combinação 5 à 5 permite a obtenção de 6 combinações, como mostrada nas figuras 32 à 34. Os resultados das combinações 5 à 5 estão apresentados no ANEXO IV e exemplificadas aqui pela combinação dos conjuntos ABCDE.

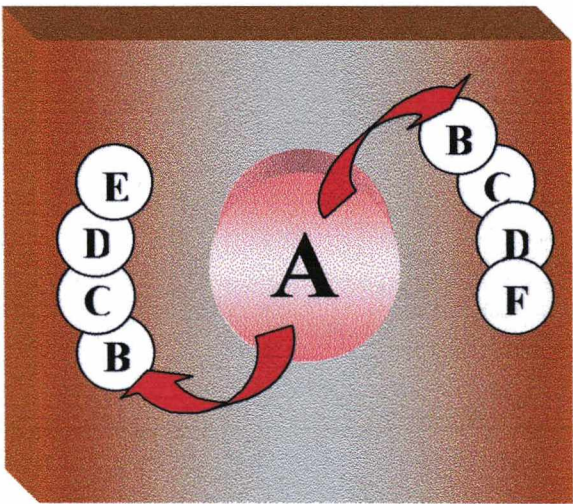


Figura 32 – Combinações de cinco à cinco

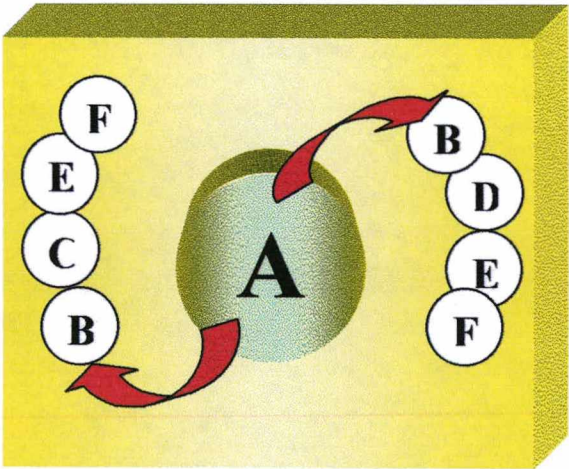


Figura 33 – Combinações de cinco à cinco

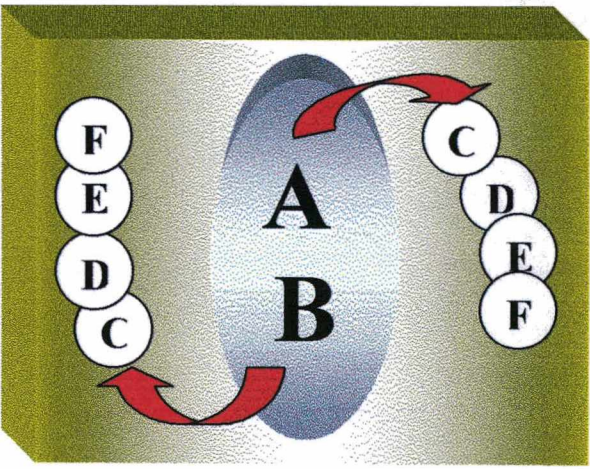


Figura 34 – Combinações de cinco à cinco

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

As curvas de comportamento médio da combinação 2 à 2 são mostradas no gráfico 3. Comparando-se o conjunto das curvas do gráfico 3 com o conjunto dos resultados de desgaste individuais do gráfico 1, observa-se que até 70 minutos de ensaio os dois conjuntos apresentam comportamentos semelhantes. Apenas o valor discrepante do desgaste da curva E para 90 minutos e suavizado no conjunto das combinações 2 à 2.

Para a combinação de dois à dois foram obtidas as médias para os 15 conjuntos possíveis, gráfico 3.

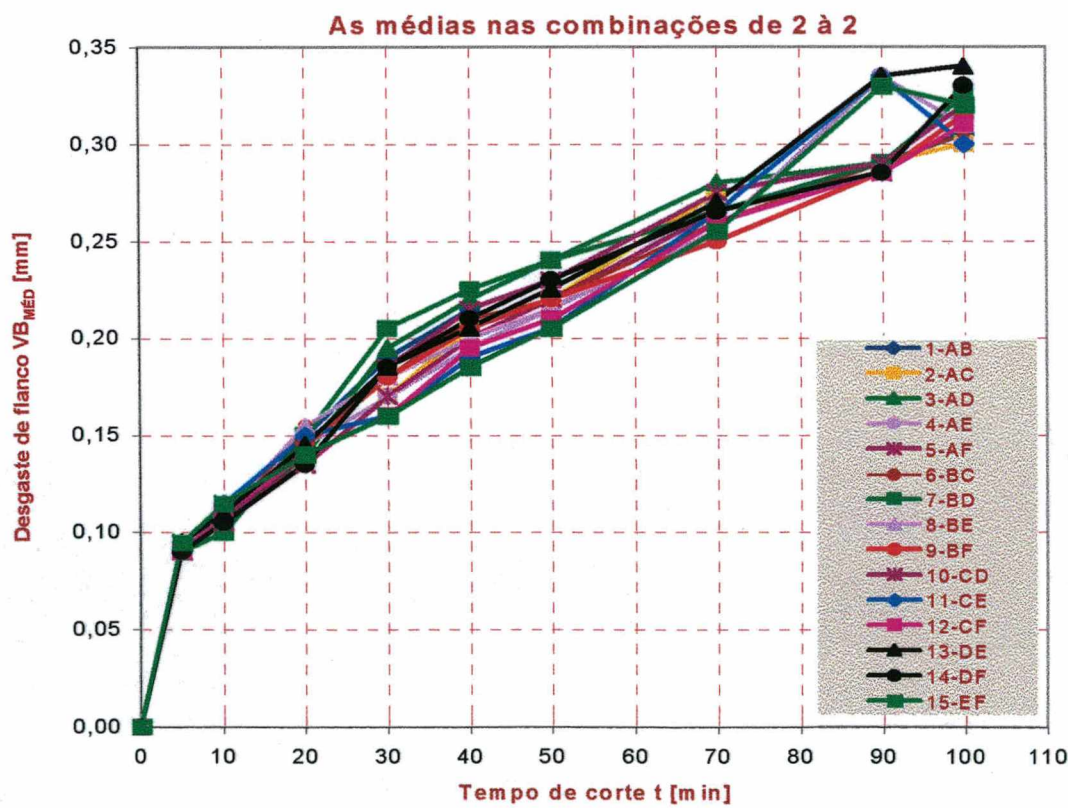


Gráfico 3 – Os valores médios do desgaste de flanco para as 15 combinações 2 à 2

No gráfico 4 estão apresentadas todas as dispersões das combinações 2 à 2. Quando analisarmos a dispersão dos valores as diferenças são mais acentuadas.

No gráfico 2, onde eram apresentados a dispersão ($\pm 3\sigma$) para o valor médio dos 6 conjuntos as curvas com uma segurança 99,7% se encontram mais próximas ao valor médio que a curva “envelope” imaginária em torno das curvas das dispersões 2 à 2.

Curvas de segurança 99,7% na combinação 2-2

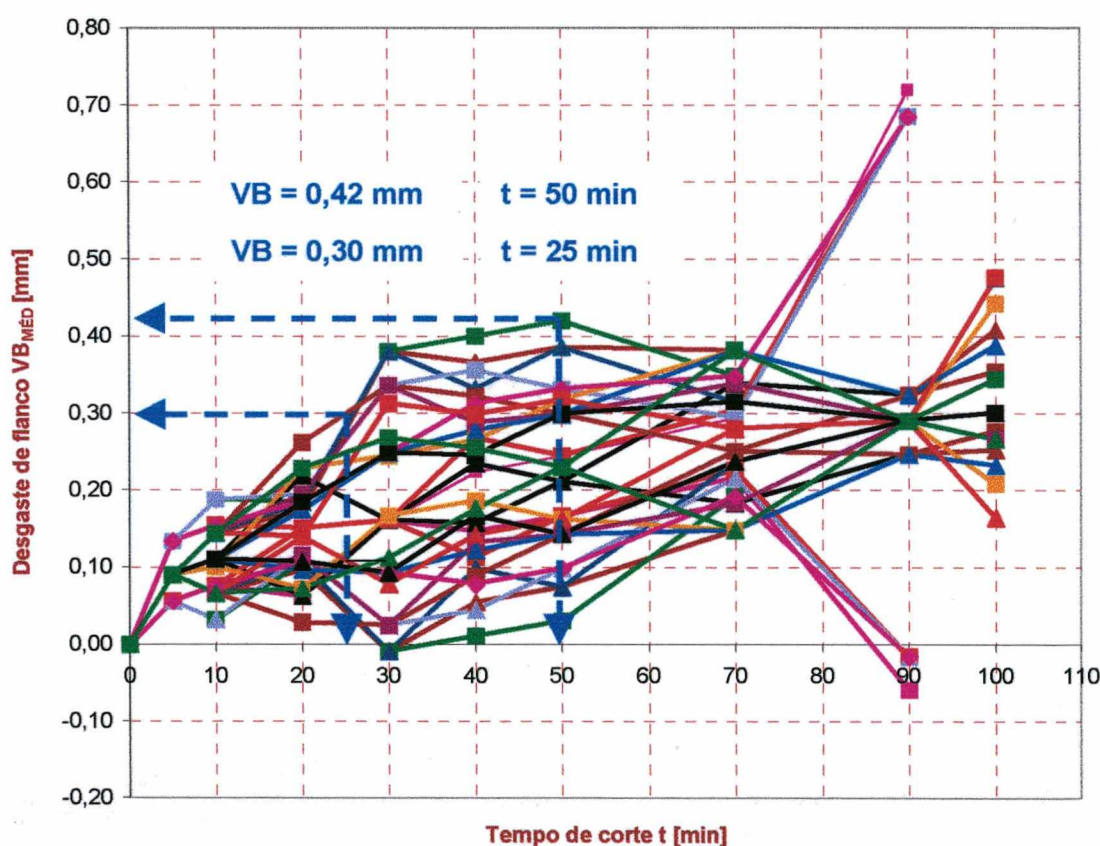


Gráfico 4 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 2 à 2 dos seis conjuntos

Para um tempo de usinagem de 50 minutos para a média dos 6 resultados tínhamos um desgaste máximo (para $+3\sigma$) de 0,3 mm, ao passo que para as combinações 2 à 2 para este tempo temos uma marca de desgaste máximo possível de 0,42 mm. Uma marca de desgaste de 0,3 mm já poderá ser alcançada após 25 minutos de usinagem.

Para a combinação três à três foram trocadas as 20 curvas de desgaste médio, como mostra no gráfico 5

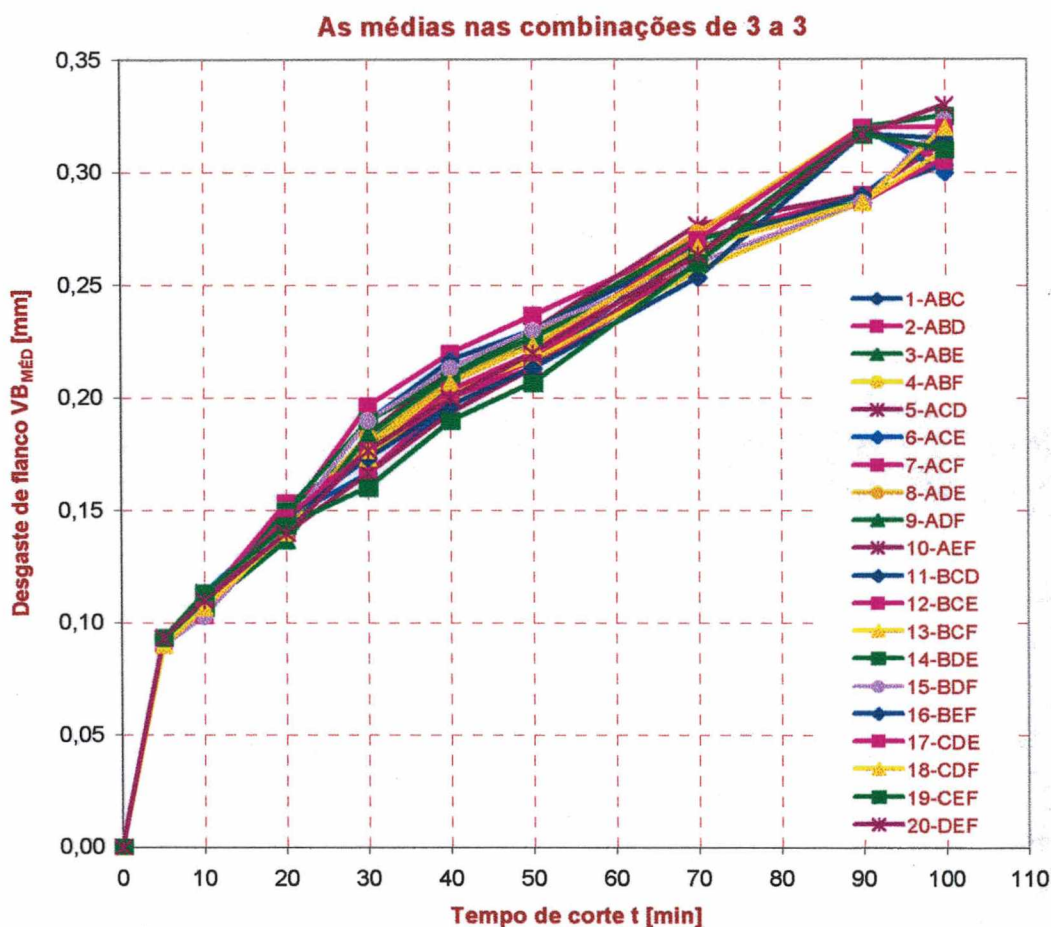


Gráfico 5 – As médias entre os Conjuntos na Combinação de três à três

Analisando os valores médios das combinações 2 à 2 (gráfico 3), 3 à 3 (gráfico 5), 4 à 4 (gráfico 7) e 5 à 5 (gráfico 9), podemos observar que elas se situam em uma faixa cada vez mais estreita à medida que aumenta o número de ensaios e os valores discrepantes tem uma influência cada vez menor sobre o resultado. A média de um número crescente de resultados apresentam um comportamento mais suave.

A análise das curvas de intervalo de confiança $\pm 3\sigma$ para as combinações individuais 3 à 3 (Anexo II) mostra uma irregularidade menos acentuada que para as combinações individuais 2 à 2 (Anexo I).

Porém a união de todos os intervalos de confiança mostrado no gráfico 6, mostra que este se estreito em relação ao mostrado para a combinação 2 à 2. Para 50 minutos podemos esperar ainda um desgaste máximo de 0,37 mm e o desgaste de VB = 0,30 mm não será atingido antes de 26 minutos de usinagem.

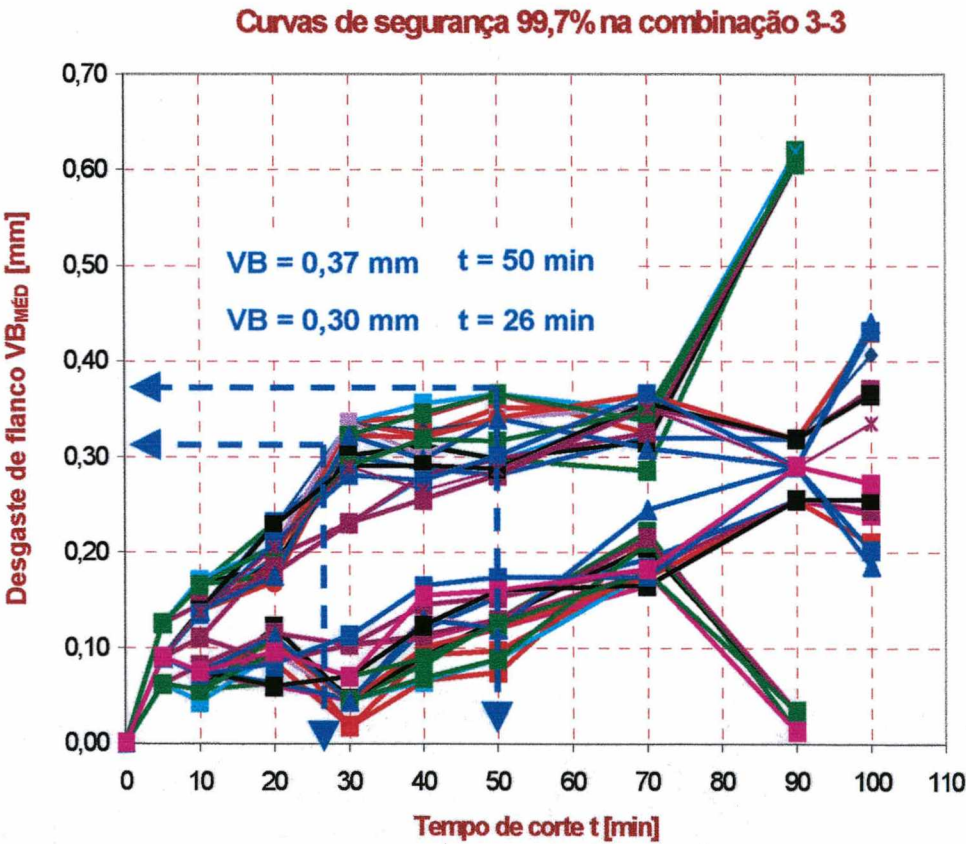


Gráfico 6 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 3 à 3 dos seis conjuntos

Para a combinação quatro à quatro foram feitos 15 combinações como mostra no gráfico 7.

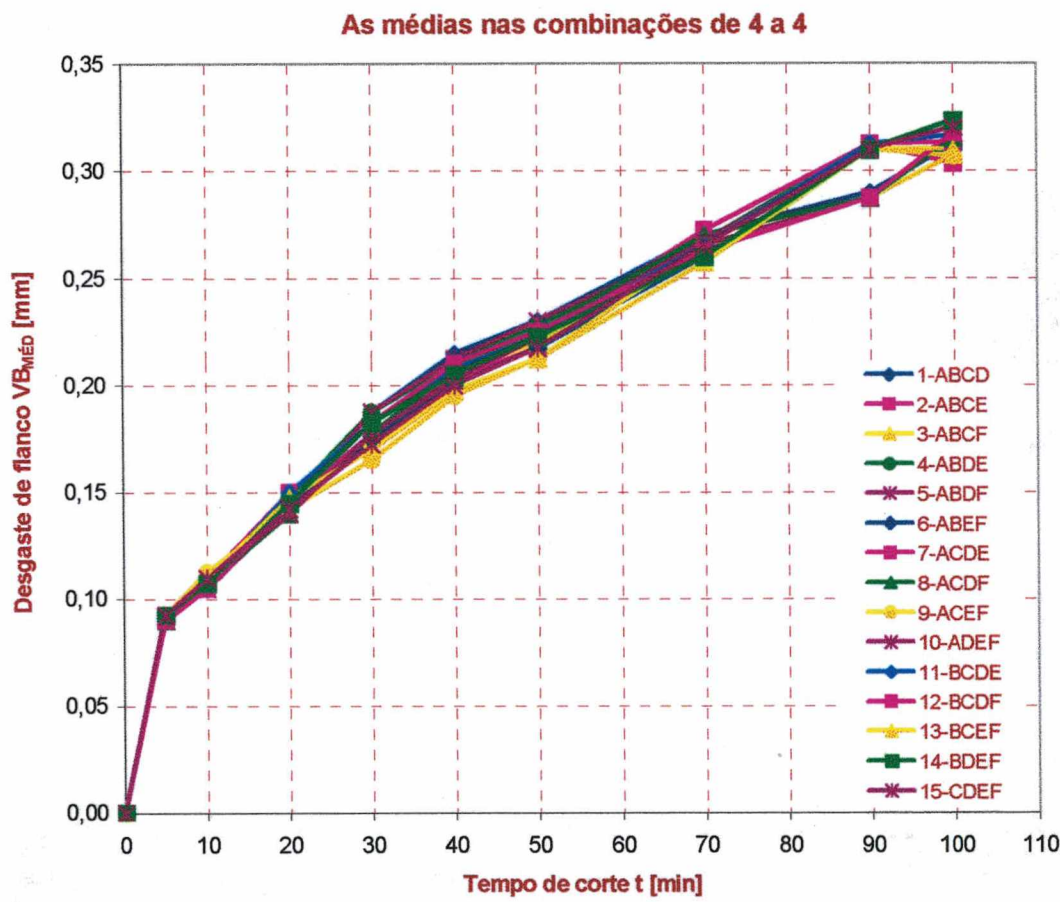


Gráfico 7 – As médias entre os Conjuntos na Combinação de quatro à quatro

Similarmente a análise das curvas “envelope” imaginária em torno de intervalo de confiança, mostrada no gráfico 8 nos mostra que para 50 minutos existe a possibilidade de atingir uma marca de desgaste de $VB = 0,35\text{ mm}$ e que uma marca de desgaste de $VB = 0,30\text{ mm}$ pode ser atingido após 27 minutos de usinagem.

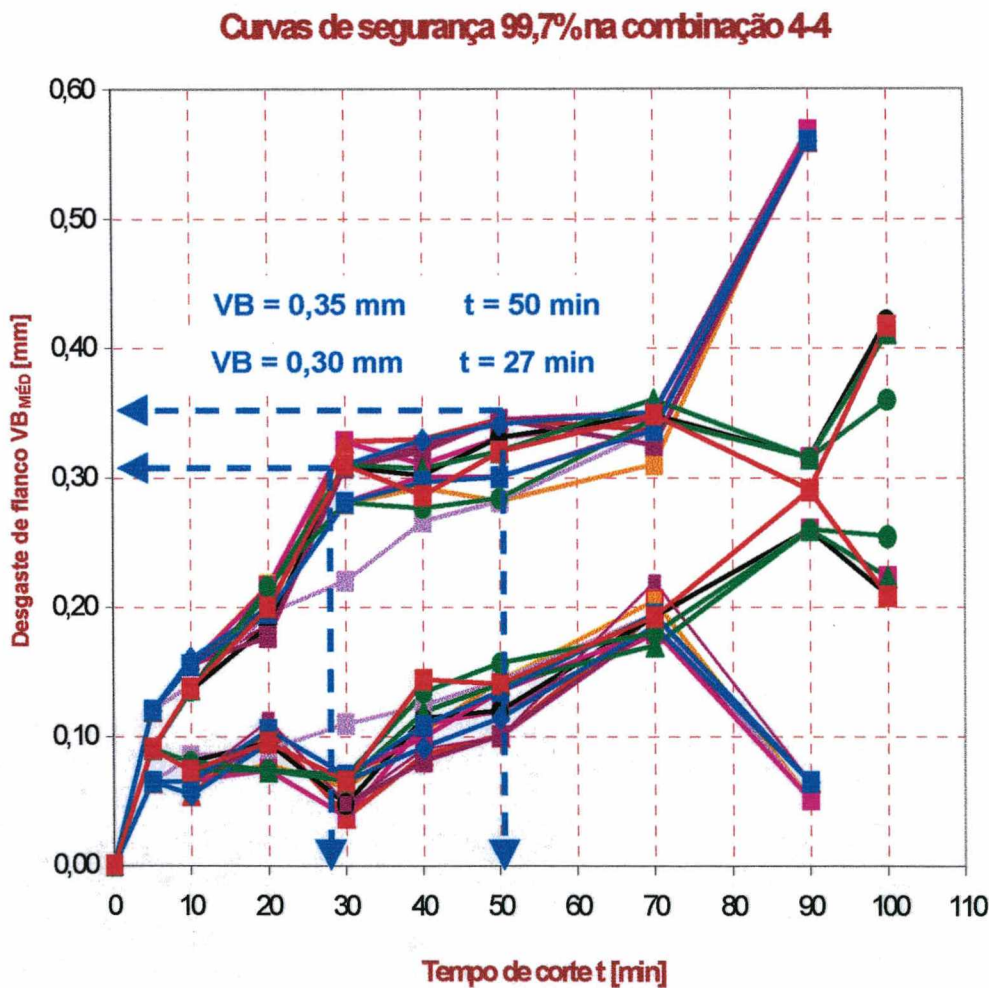


Gráfico 8 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 4 à 4 dos seis conjuntos

Para a combinação cinco à cinco são obtidos 6 conjuntos de curvas como mostra no gráfico 9.

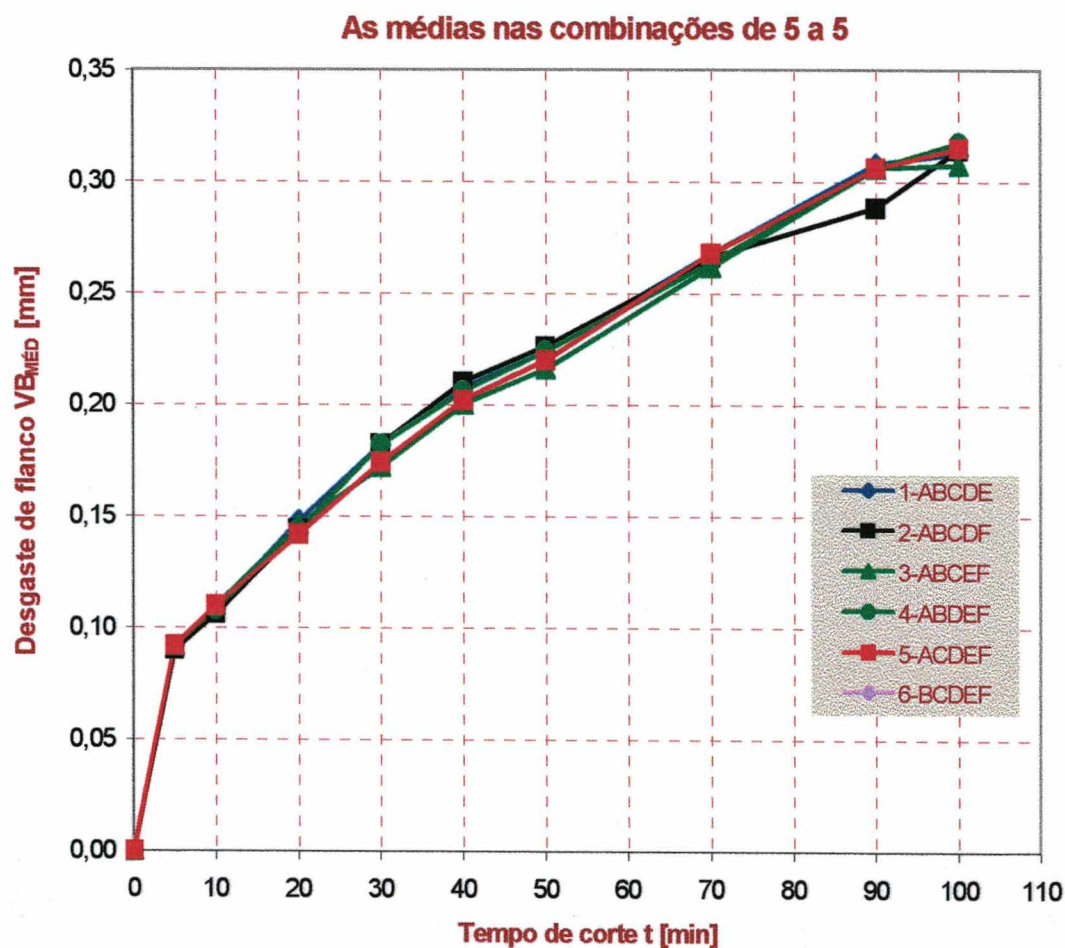


Gráfico 9 – As médias entre os Conjuntos na Combinação de cinco à cinco

Para as curvas de dispersão da combinação 5 à 5 para 50 minutos, o desgaste previsível máxima fica limitado em $VB = 0,34\text{ mm}$, ao passo que $VB = 0,30\text{ mm}$, pode ser atingido após um tempo de usinagem de 29 minutos.

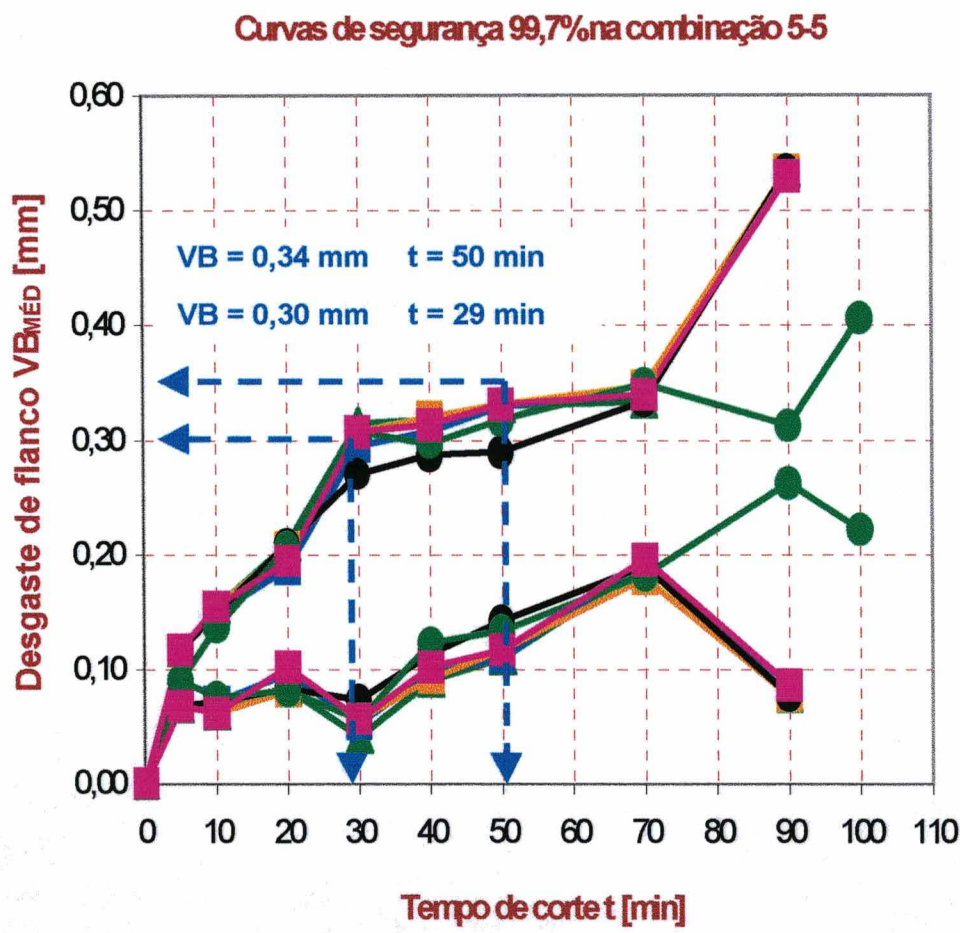
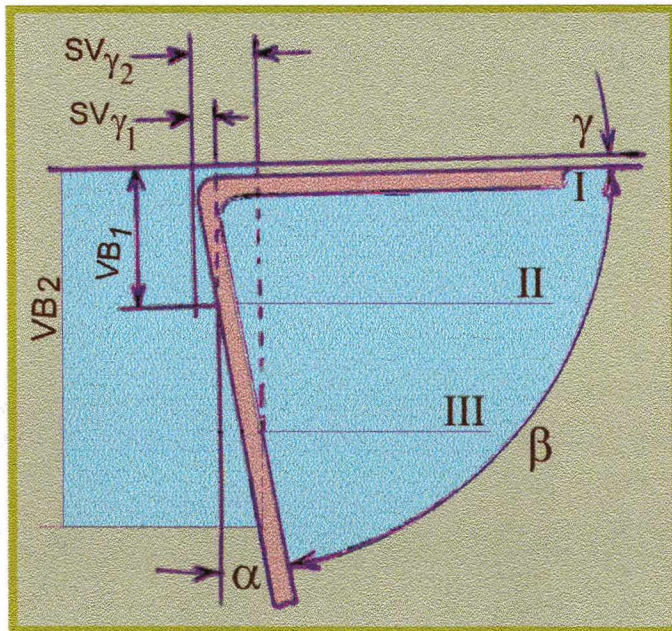


Gráfico 10 – Os intervalos de confiança 3σ na combinação 5 à 5 dos seis conjuntos

Esta análise nos mostra que os valores de vida da ferramenta com confiabilidade de 99,7% aumentam com o aumento do número de ensaios (para apenas 2 ensaios com marca de desgaste $VB = 0,30$ mm pode ser atingido após 25 minutos para 6 ensaios após 50 minutos de usinagem).

Este resultado mostra que na programação de uma produção para máquinas de comando numérico o número de ensaios realizados deve ser o maior possível. Para aumentar a confiabilidade e minimizar os custos de ferramenta a base de dados deve ser continuamente realimentada com dados da produção, de forma que se possa diagnosticar a vida da ferramenta com maior segurança.

Verifica-se ainda que enquanto o desgaste da ferramenta de corte se situa na camada de revestimento, os valores do desgaste são muito regulares mesmo para um número pequeno de ensaio. A figura 35 mostra a forma esquemática de um corte através de uma ferramenta revestida.



Para um recuo de gume Sv_{γ_1} da ordem de grandeza da espessura de revestimento, temos uma marca de desgaste VB_1 (para um revestimento com $10 \mu m$ de espessura e para um ângulo de incidência $\alpha = 6^\circ$; $VB_1 \approx 0,1$ mm).

Figura 35 – Camada de revestimento

Nesta situação toda a região do flanco que está em contato com a peça ainda está protegida pelo revestimento. A medida que o desgaste progride, a parte do substrato é exposto na região de contato entre ferramenta e peça.

Podemos dividir a marca de desgaste em 3 regiões:

- I. A região superior corresponde ao revestimento da face;
- II. A região central, corresponde à marca de desgaste no substrato; e
- III. A região inferior corresponde à marca de desgaste no revestimento do flanco.

Enquanto as áreas das regiões I e III dominam, a progressão do desgaste continua bem comportada. A medida que a região II passa a dominar, o comportamento de desgaste se torna imprevisível, pois o substrato não foi feito para as velocidades de corte na ordem de valor daquela que se aplica ao revestimento.

Como 50% das ferramentas irão apresentar um desgaste menor que o médio, e este em todos os ensaios, exceto de conjunto E, ter apresentado valores inferiores a 0,30 mm para tempos de usinagem de 90 minutos, a interrupção programada do trabalho de usinagem, para uma vida segura de 25 minutos (combinação 2 à 2) ou 50 minutos (seis ensaios) e troca da ferramenta, certamente permitirá uma redução substancial de custo de ferramenta de corte se o desgaste da ferramenta for monitorado e a troca só for efetuada para uma marca de desgaste previamente estabelecida como fim de vida.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1. CONCLUSÕES

- A confiabilidade do resultado de desgaste aumenta quando se aumenta o número de ensaios.
- A dispersão diminui quando se aumenta o número de ensaios.
- Para a programação da produção em máquinas de comando numérico deve-se considerar a dispersão ($+ 3\sigma$).
- Para um recuo de gume $S_v\gamma$ de $10\ \mu\text{m}$ e $\alpha = 6^\circ$, temos uma marca de desgaste $VB_1 \approx 0,1\ \text{mm}$.
- Enquanto a marca de desgaste estiver predominantemente na camada do revestimento, o comportamento de desgaste é confiável.
- Quando a marca de desgaste é dominada pelo substrato, o comportamento de desgaste não é mais confiável.

6.2. SUGESTÕES

- Este trabalho foi limitado para analisar uma única condição de corte.
 - Este trabalho deverá ser ampliado para velocidades de corte, avanços e profundidades de corte acima e abaixo das que foram ensaiadas para obter um melhor entendimento e a comprovação dos resultados mais amplos deverá ser verificado se a equação expandida de Taylor apresenta convergência se forem introduzidas os intervalos de confiança.
 - A realização de ensaios monitorados permitirá determinar o ganho real que se terá na produção em decorrência do aumento médio da vida das ferramentas conseqüente do aproveitamento global da capacidade de corte das mesmas.
-

ANEXOS

ANEXO I

- COMBINAÇÕES DOIS À DOIS

ANEXO II

- COMBINAÇÕES TRÊS À TRÊS

ANEXO III

- COMBINAÇÕES QUATRO À QUATRO

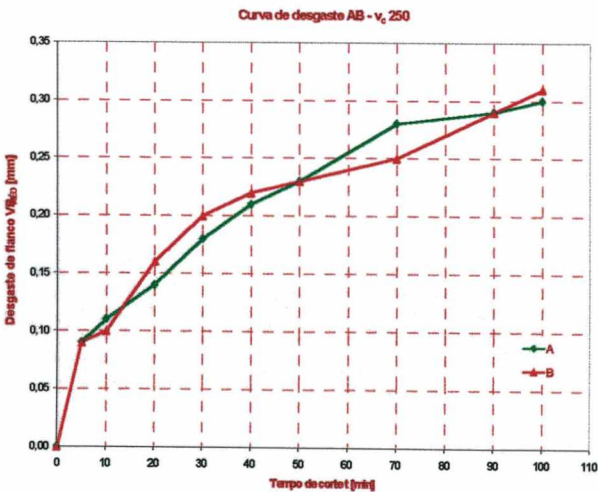
ANEXO IV

- COMBINAÇÕES CINCO À CINCO

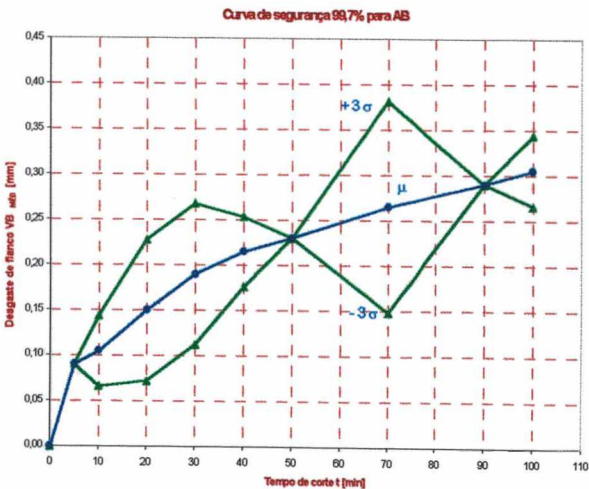
1. COMBINAÇÕES DOIS À DOIS

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AB			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0.10	0.14	0.06
20	0.15	0.22	0.07
30	0.19	0.26	0.11
40	0.21	0.25	0.17
50	0,23	0,23	0,23
70	0.26	0.38	0.14
90	0,29	0,29	0,29
100	0.30	0.34	0.26
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos AB



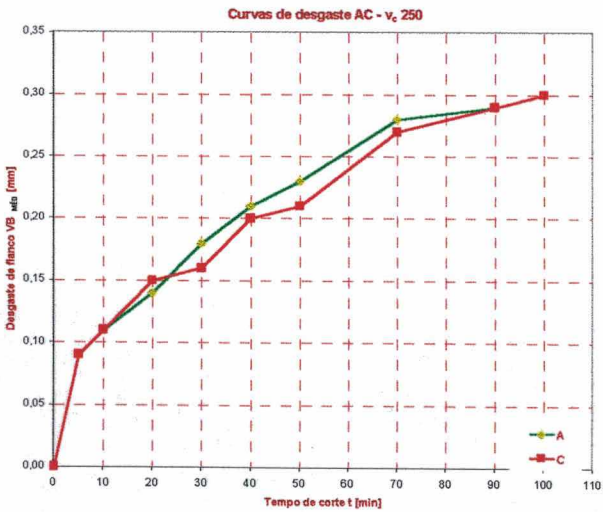
Comportamento de desgaste dos Conjuntos AB



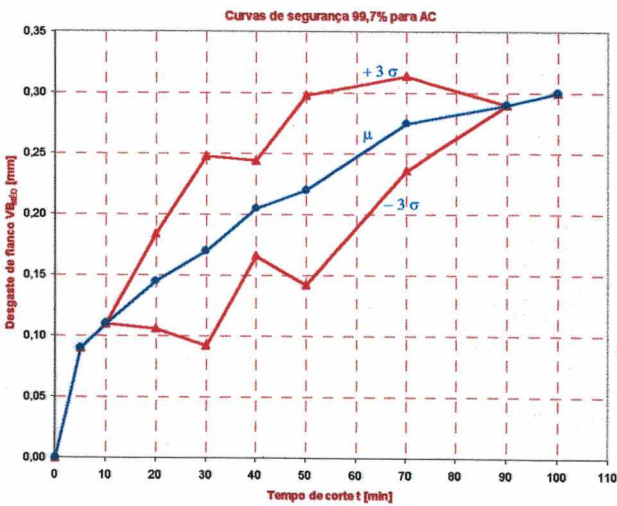
Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos AB

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AC			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,11	0,11	0,11
20	0,14	0,18	0,10
30	0,17	0,24	0,09
40	0,20	0,24	0,16
50	0,22	0,29	0,14
70	0,27	0,31	0,23
90	0,29	0,29	0,29
100	0,30	0,30	0,30
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos AC



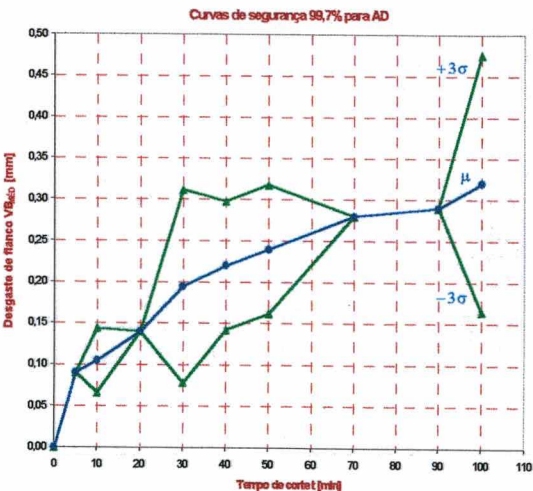
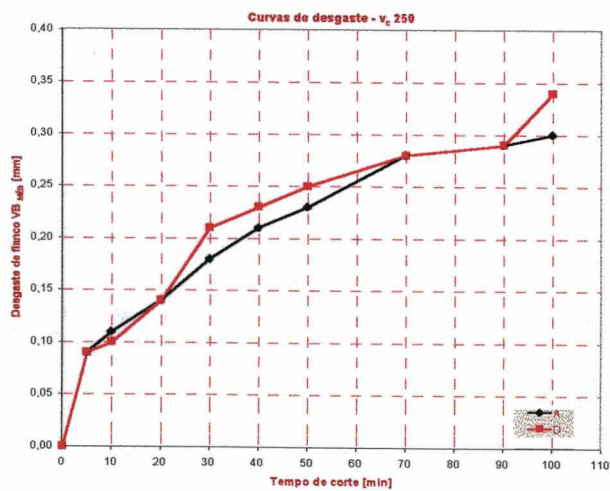
Comportamento de desgaste dos Conjuntos AC



Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos AC

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,14	0,06
20	0,14	0,14	0,14
30	0,19	0,31	0,07
40	0,22	0,29	0,14
50	0,24	0,31	0,16
70	0,28	0,28	0,28
90	0,29	0,29	0,29
100	0,32	0,47	0,16
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos AD

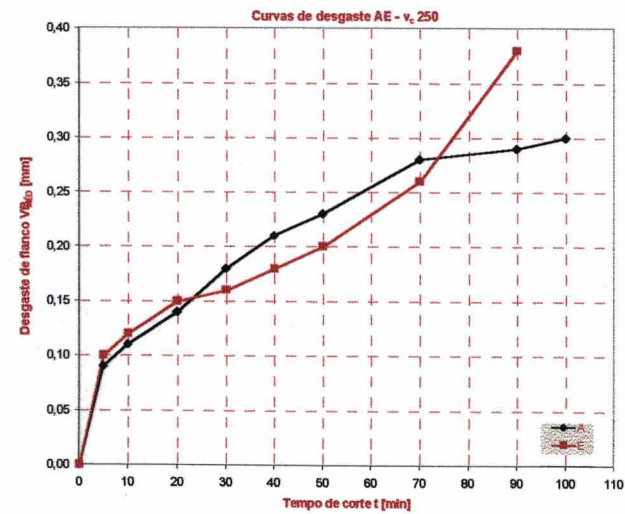


Comportamento de desgaste dos Conjuntos AD

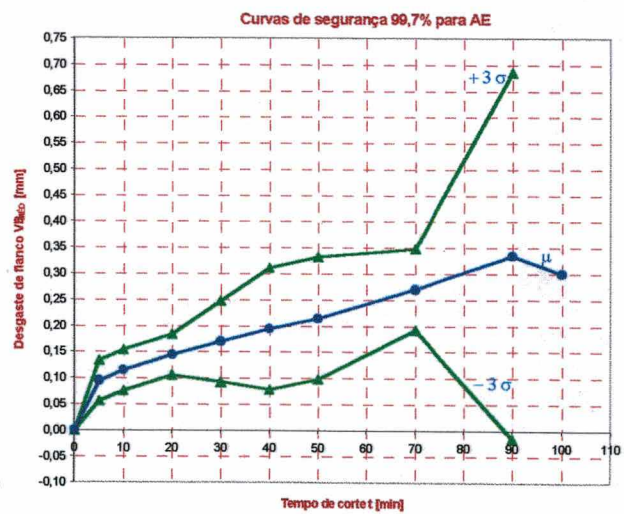
Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos AD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,13	0,05
10	0,11	0,15	0,07
20	0,14	0,18	0,10
30	0,17	0,24	0,09
40	0,19	0,31	0,07
50	0,21	0,33	0,09
70	0,27	0,34	0,19
90	0,33	0,68	-0,01
100	0,30		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos AE



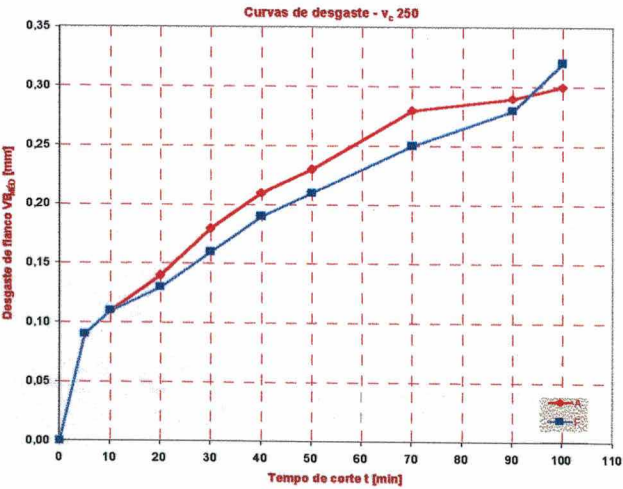
Comportamento de desgaste dos Conjuntos AE



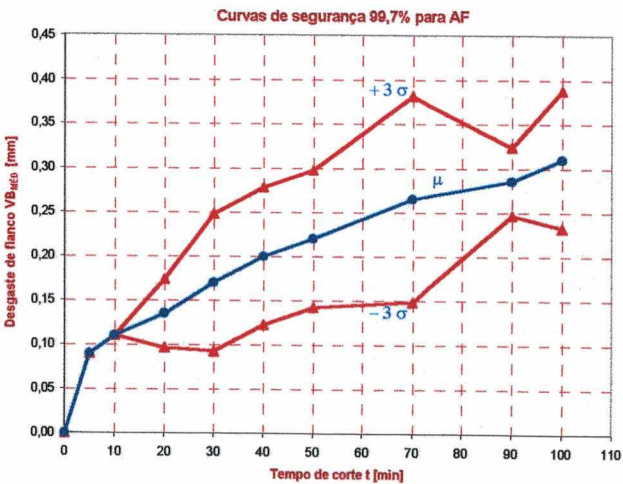
Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos AE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,11	0,11	0,11
20	0,13	0,17	0,09
30	0,17	0,24	0,09
40	0,20	0,27	0,12
50	0,22	0,29	0,14
70	0,26	0,38	0,14
90	0,28	0,32	0,24
100	0,31	0,38	0,23
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos AF



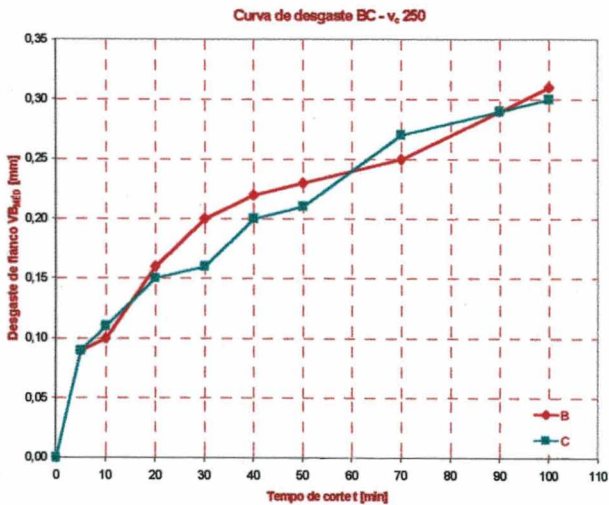
Comportamento de desgaste dos Conjuntos AF



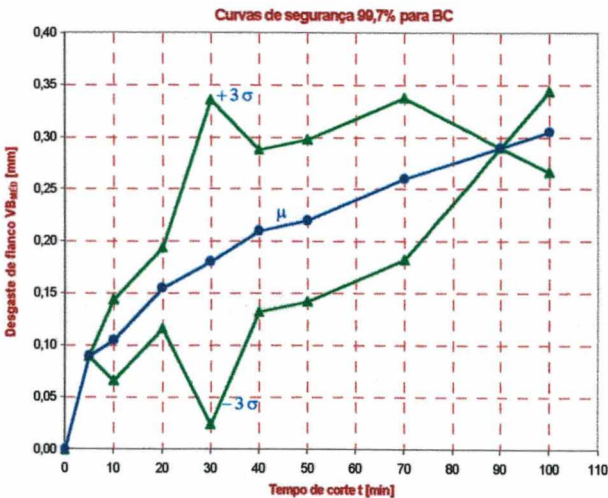
Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos AF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BC			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,14	0,06
20	0,15	0,19	0,11
30	0,18	0,33	0,02
40	0,21	0,28	0,13
50	0,22	0,29	0,14
70	0,26	0,33	0,18
90	0,29	0,29	0,29
100	0,30	0,34	0,26
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BC



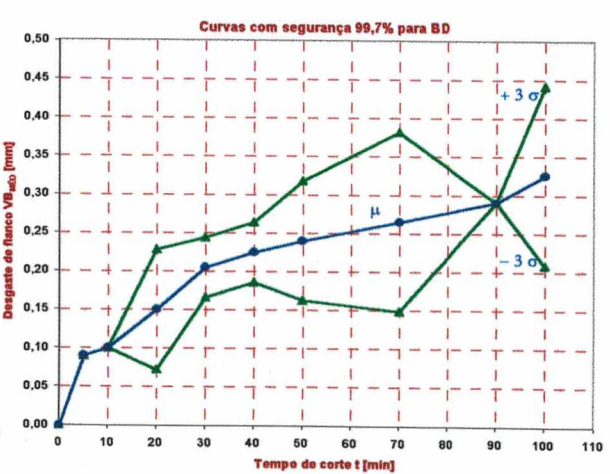
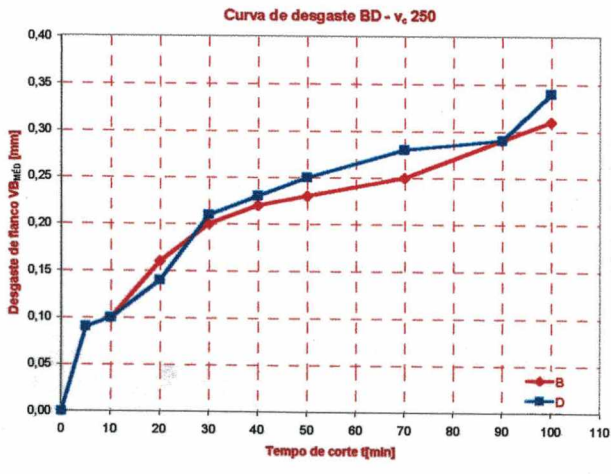
Comportamento de desgaste dos Conjuntos BC



Valor médio e intervalo de 3σ dos conjuntos BC

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,10	0,10
20	0,15	0,22	0,07
30	0,20	0,24	0,16
40	0,22	0,26	0,18
50	0,24	0,31	0,16
70	0,26	0,38	0,14
90	0,29	0,29	0,29
100	0,32	0,44	0,20
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BD

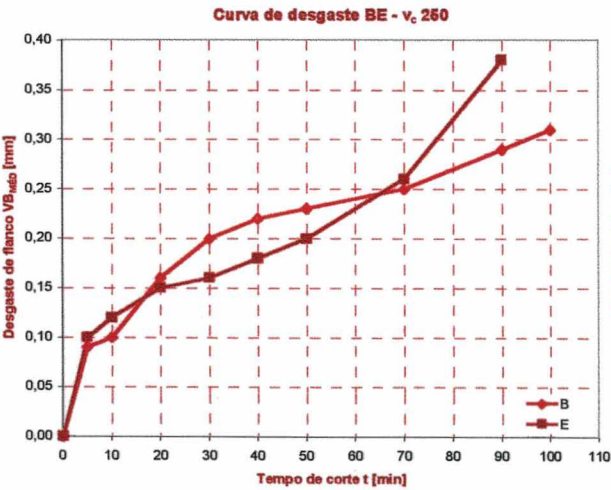


Comportamento de desgaste dos Conjuntos BD

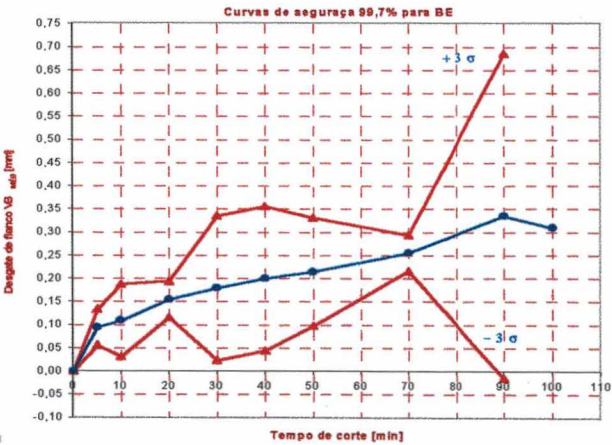
Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos BD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,13	0,05
10	0,11	0,18	0,03
20	0,15	0,19	0,11
30	0,18	0,33	0,02
40	0,20	0,35	0,04
50	0,21	0,33	0,09
70	0,25	0,29	0,21
90	0,33	0,68	-0,01
100	0,31	-	-
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BE



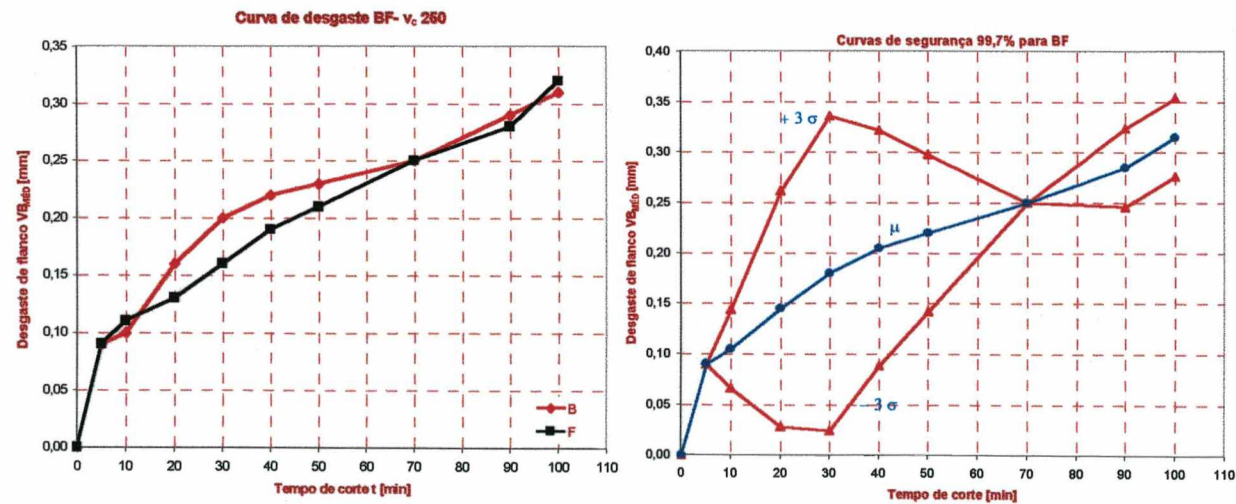
Comportamento de desgaste dos Conjuntos BE



Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,14	0,06
20	0,14	0,26	0,02
30	0,18	0,33	0,02
40	0,20	0,32	0,08
50	0,22	0,29	0,14
70	0,25	0,25	0,25
90	0,28	0,32	0,24
100	0,31	0,35	0,27
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BF

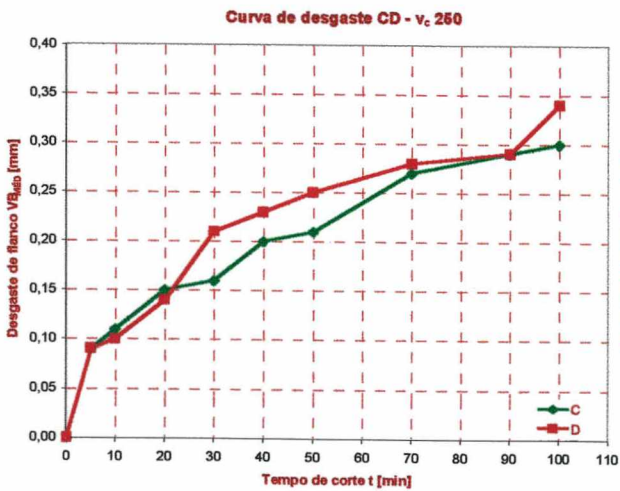


Comportamento de desgaste dos Conjuntos BF

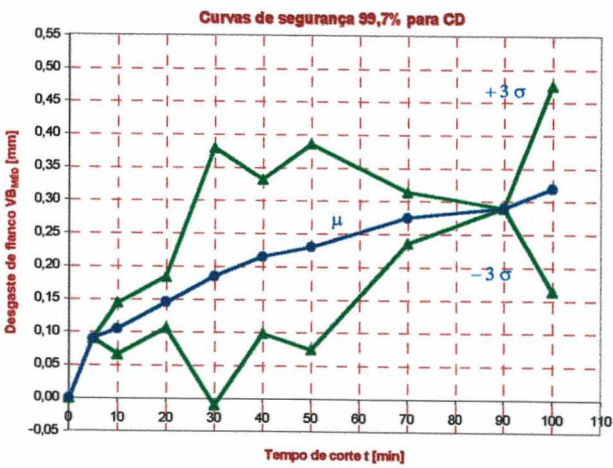
Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,14	0,06
20	0,14	0,18	0,10
30	0,18	0,37	-0,01
40	0,21	0,33	0,09
50	0,23	0,38	0,07
70	0,27	0,31	0,23
90	0,29	0,29	0,29
100	0,32	0,47	0,16
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos CD



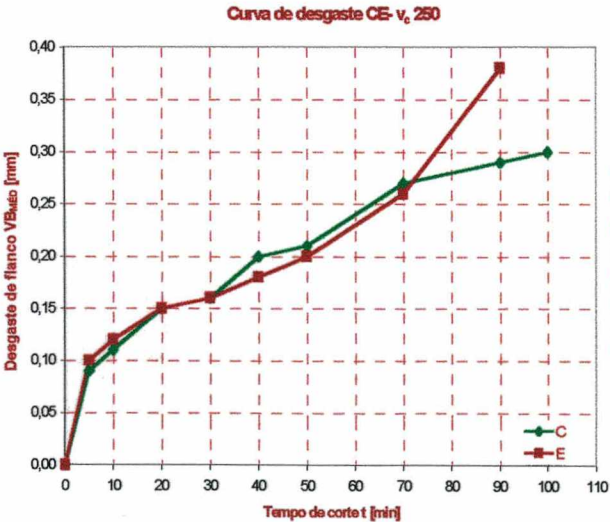
Comportamento de desgaste dos Conjuntos CD



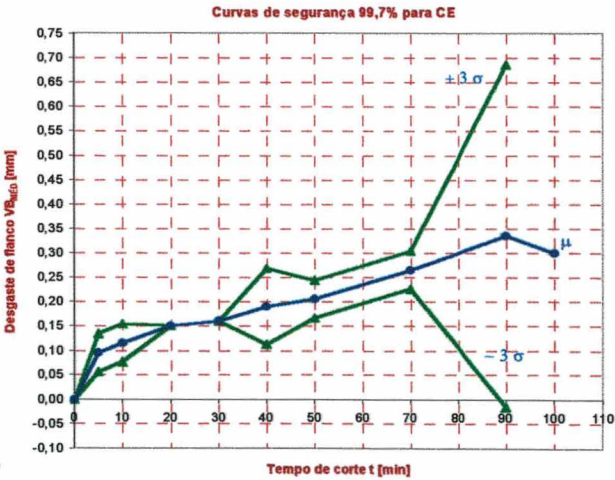
Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos CD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,13	0,05
10	0,11	0,15	0,07
20	0,15	0,15	0,15
30	0,16	0,16	0,16
40	0,19	0,26	0,11
50	0,20	0,24	0,16
70	0,26	0,30	0,22
90	0,33	0,68	-0,01
100	0,30		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos CE



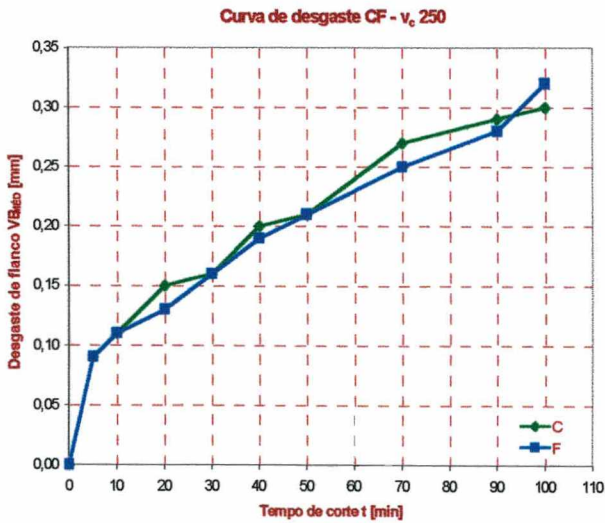
Comportamento de desgaste dos Conjuntos CE



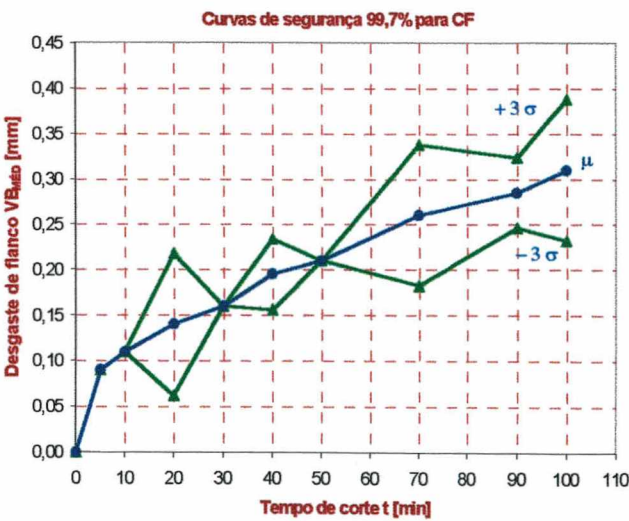
Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos CE

MÉDIA E DESVIO PADRÕES DOS CONJUNTOS CF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,11	0,11	0,11
20	0,14	0,21	0,06
30	0,16	0,16	0,16
40	0,19	0,23	0,15
50	0,21	0,21	0,21
70	0,26	0,33	0,18
90	0,28	0,32	0,24
100	0,31	0,38	0,23
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos CF



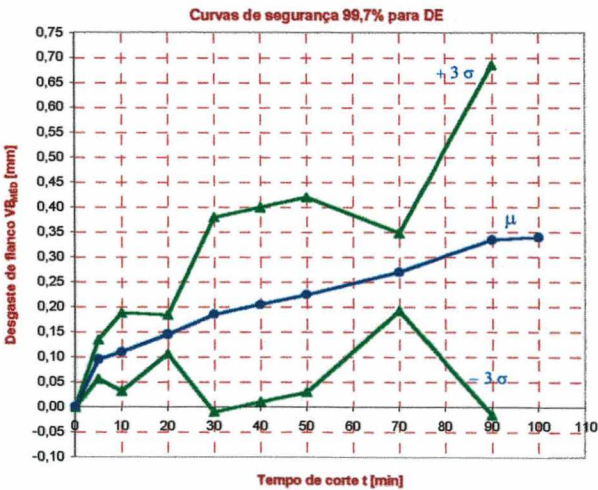
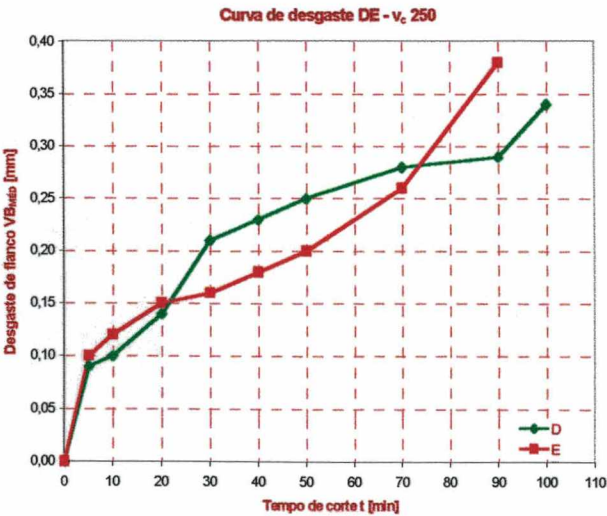
Comportamento de desgaste dos Conjuntos CF



Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos CF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS DE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,13	0,05
10	0,11	0,18	0,03
20	0,14	0,18	0,10
30	0,18	0,37	-0,01
40	0,20	0,39	0,01
50	0,22	0,41	0,03
70	0,27	0,34	0,19
90	0,33	0,68	-0,01
100	0,34		
110			

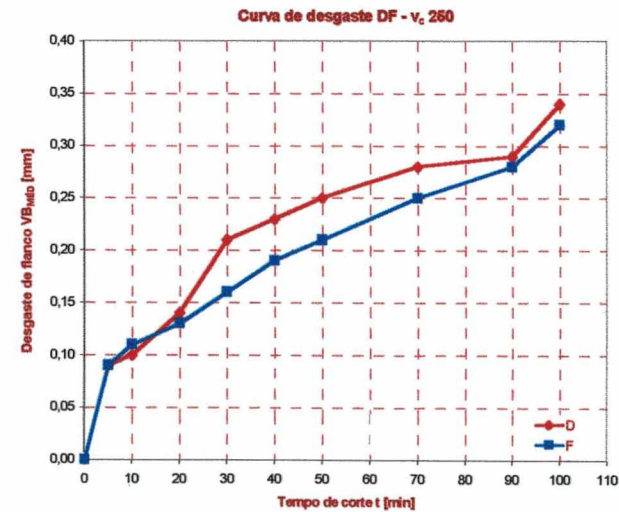
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos DE



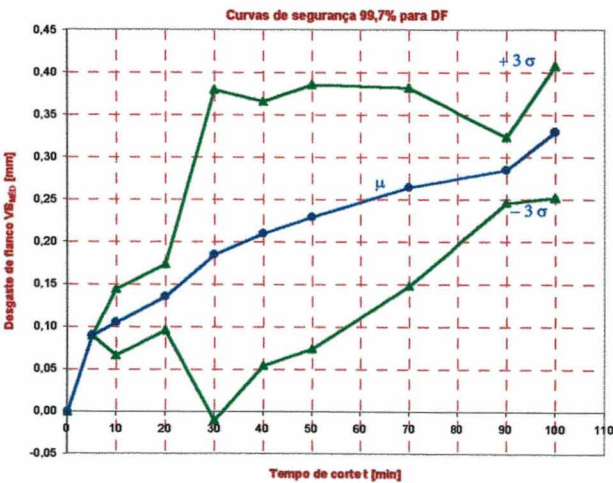
Comportamento de desgaste dos Conjuntos DE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos DE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS DF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,14	0,06
20	0,13	0,17	0,09
30	0,18	0,37	-0,01
40	0,21	0,36	0,05
50	0,23	0,38	0,07
70	0,26	0,38	0,14
90	0,28	0,32	0,24
100	0,33	0,40	0,25
110			

Médias e Desvios Padrões dos Conjuntos DF



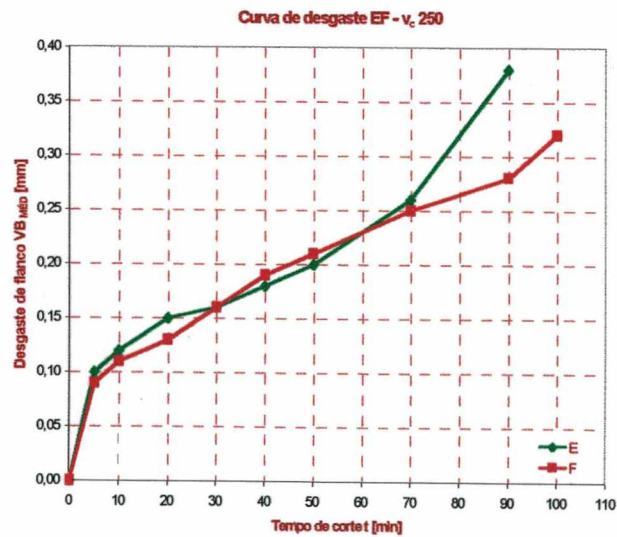
Comportamento de desgaste dos Conjuntos DF



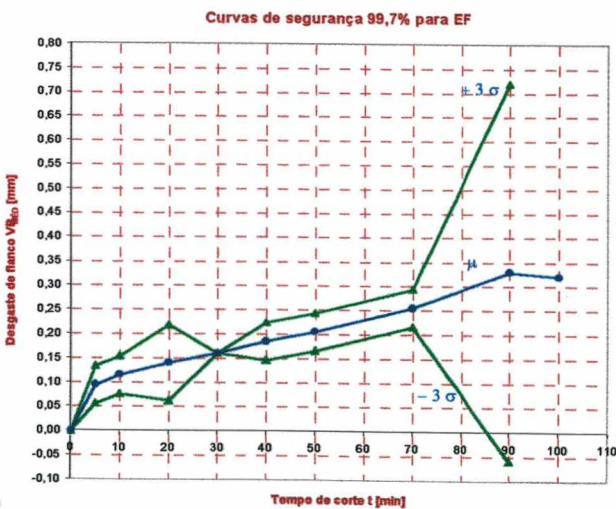
Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos DF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS EF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,13	0,05
10	0,11	0,15	0,07
20	0,14	0,21	0,06
30	0,16	0,16	0,16
40	0,18	0,22	0,14
50	0,20	0,24	0,16
70	0,25	0,29	0,21
90	0,33	0,71	-0,05
100	0,32		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos EF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos EF

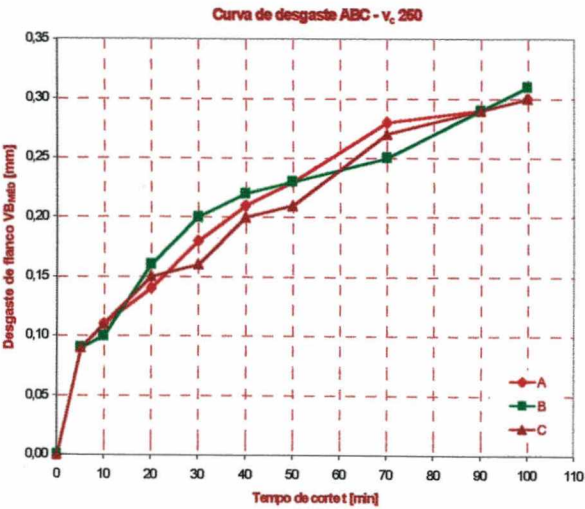


Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos EF

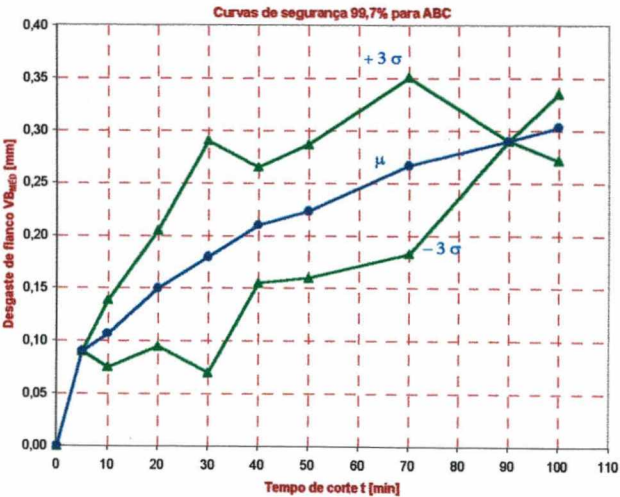
2. COMBINAÇÕES TRÊS À TRÊS

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABC			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,15	0,20	0,09
30	0,18	0,29	0,06
40	0,21	0,26	0,15
50	0,22	0,28	0,15
70	0,26	0,35	0,18
90	0,29	0,29	0,29
100	0,30	0,33	0,27
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABC



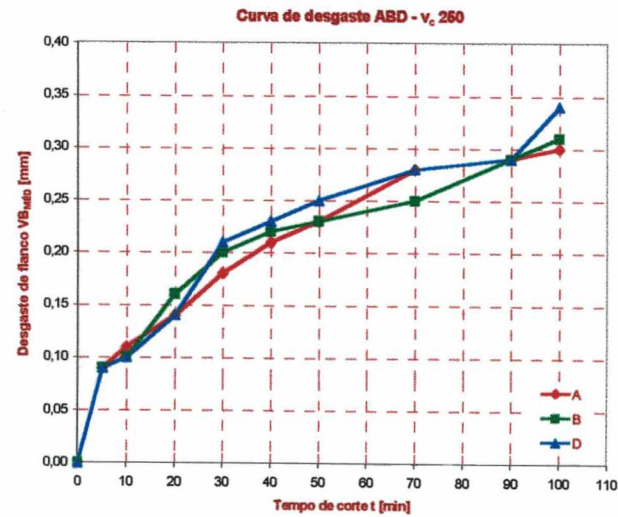
Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABC



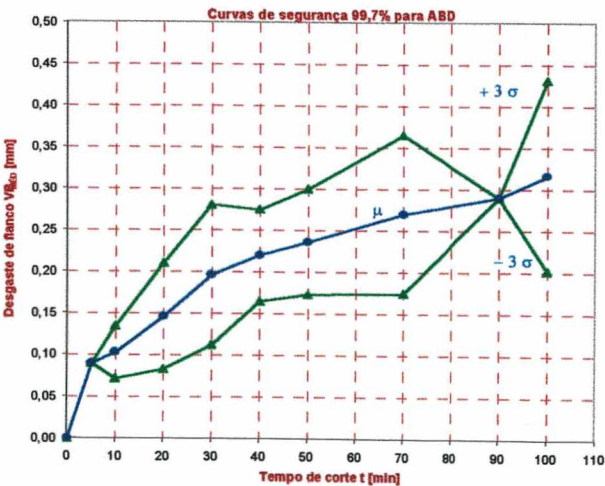
Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABC

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,21	0,08
30	0,19	0,28	0,11
40	0,22	0,27	0,16
50	0,23	0,30	0,17
70	0,27	0,36	0,17
90	0,29	0,29	0,29
100	0,31	0,43	0,20
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABD



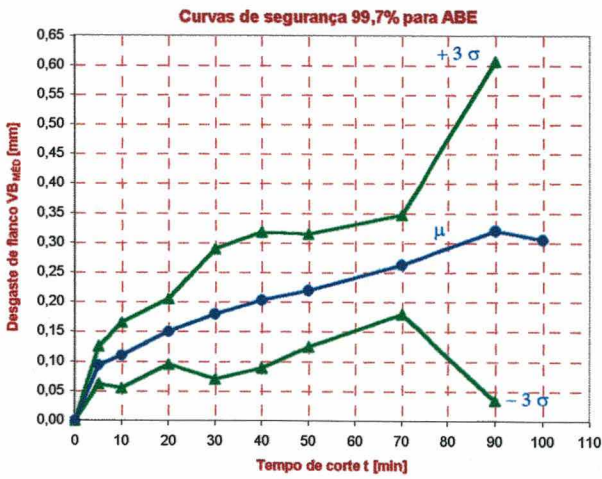
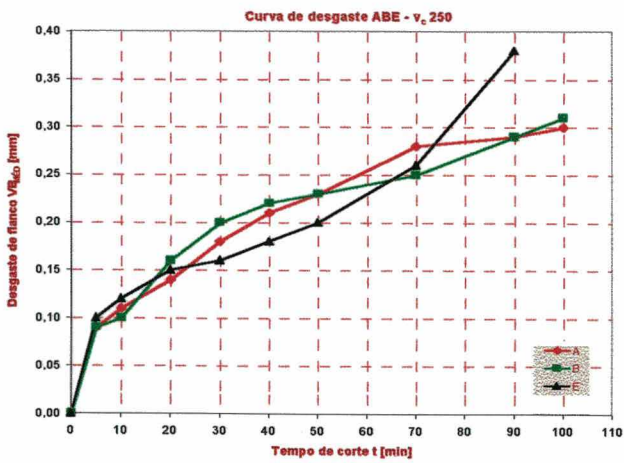
Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABD



Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,15	0,20	0,09
30	0,18	0,29	0,06
40	0,20	0,31	0,08
50	0,22	0,31	0,12
70	0,26	0,34	0,17
90	0,32	0,60	0,03
100	0,30		
110			

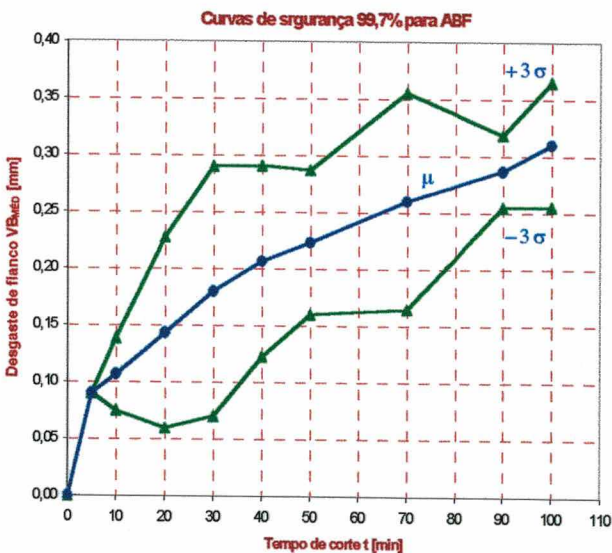
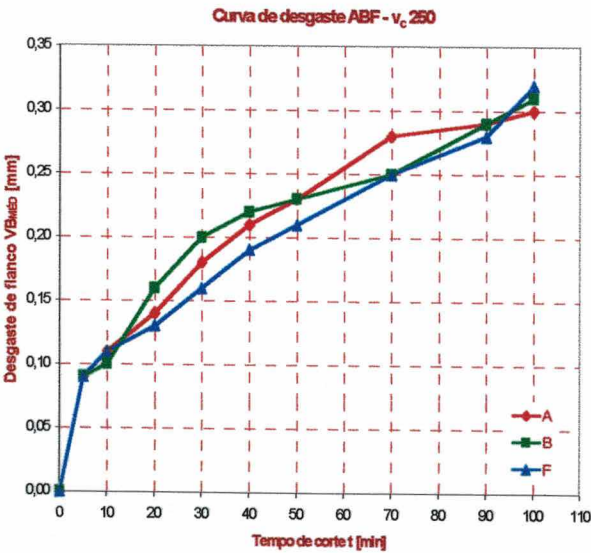
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,22	0,05
30	0,18	0,29	0,06
40	0,20	0,29	0,12
50	0,22	0,28	0,15
70	0,26	0,35	0,16
90	0,28	0,31	0,25
100	0,31	0,36	0,25
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABF

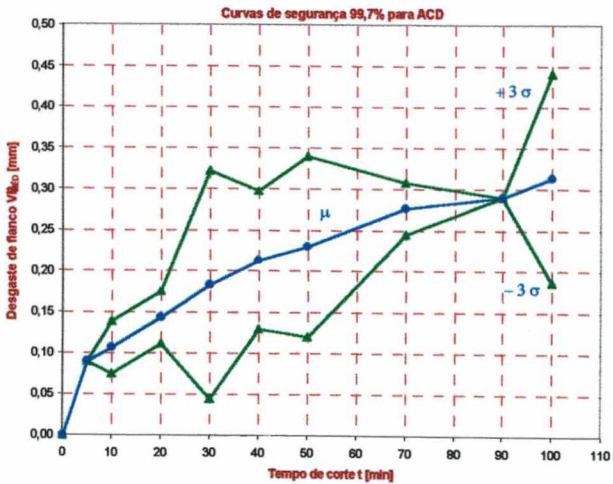
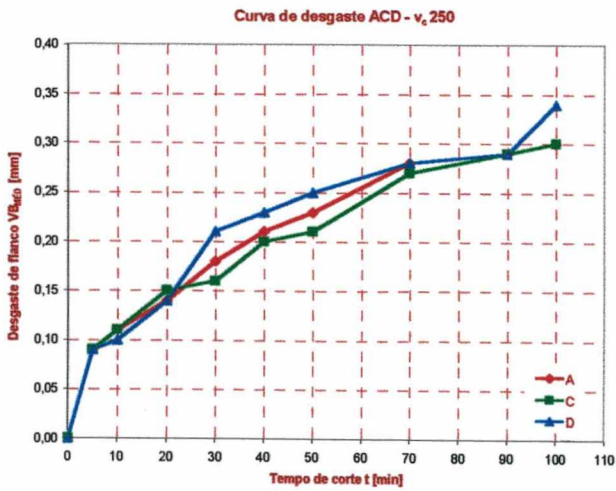


Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABF

Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos ABF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACD			
SEGURANÇA DE 99,7 %			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,17	0,11
30	0,18	0,32	0,04
40	0,21	0,29	0,12
50	0,23	0,34	0,11
70	0,27	0,30	0,24
90	0,29	0,29	0,29
100	0,31	0,44	0,18
110			

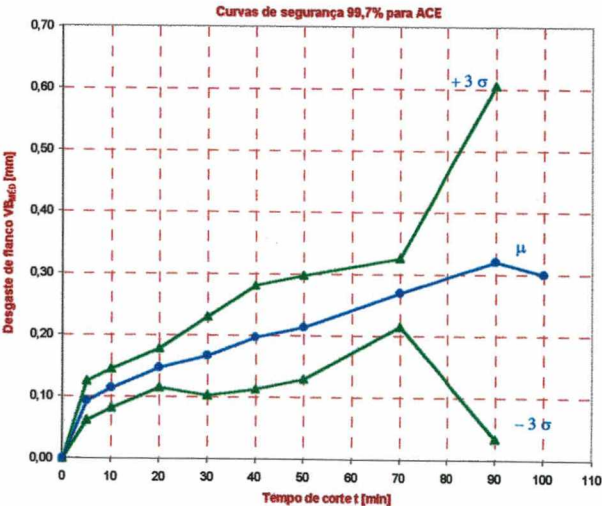
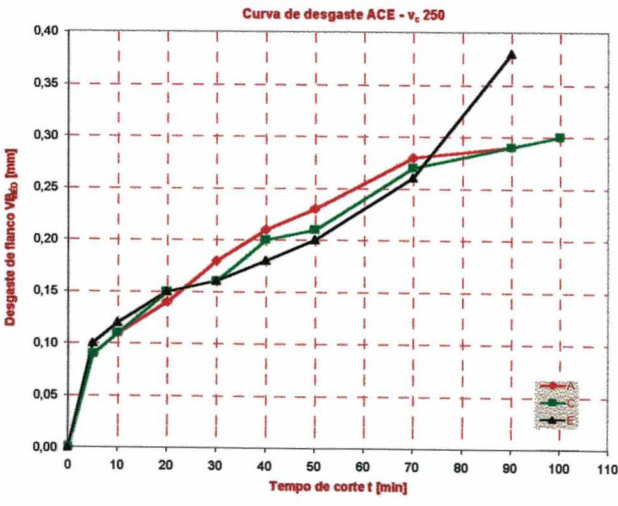
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ACD



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACD Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,14	0,08
20	0,14	0,17	0,11
30	0,16	0,23	0,10
40	0,19	0,28	0,11
50	0,21	0,29	0,12
70	0,27	0,32	0,21
90	0,32	0,60	0,03
100	0,30		
110			

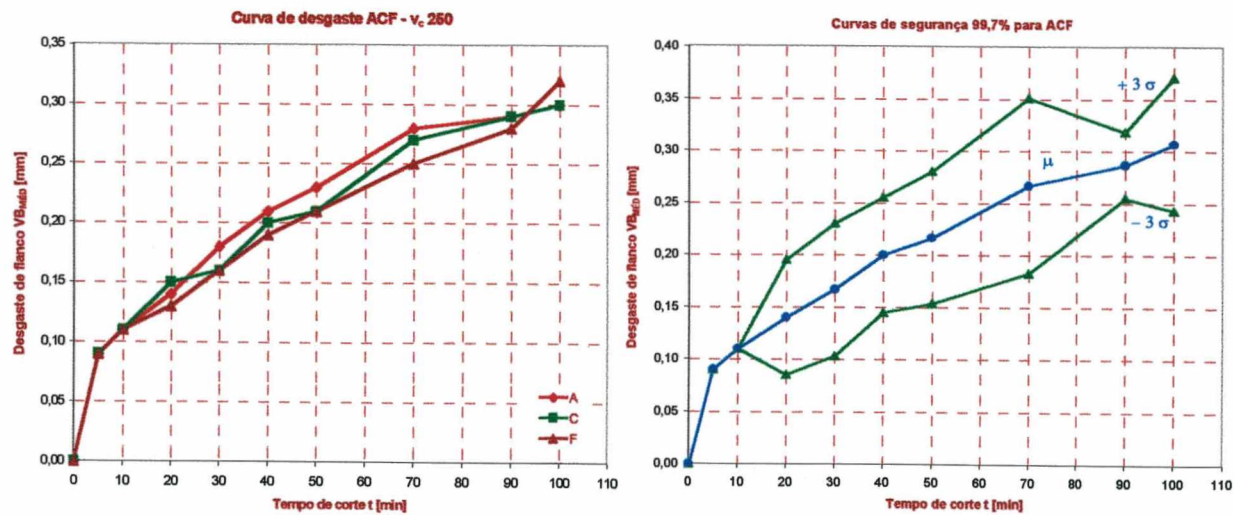
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ACE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,11	0,11	0,11
20	0,14	0,19	0,08
30	0,16	0,23	0,10
40	0,20	0,25	0,14
50	0,21	0,28	0,15
70	0,26	0,35	0,18
90	0,28	0,31	0,25
100	0,30	0,37	0,24
110			

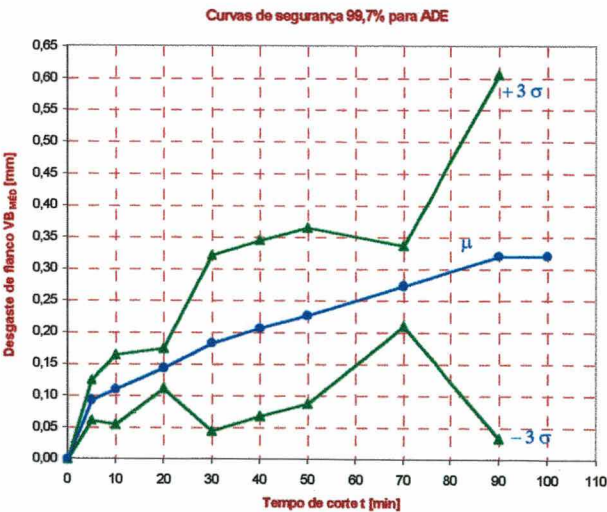
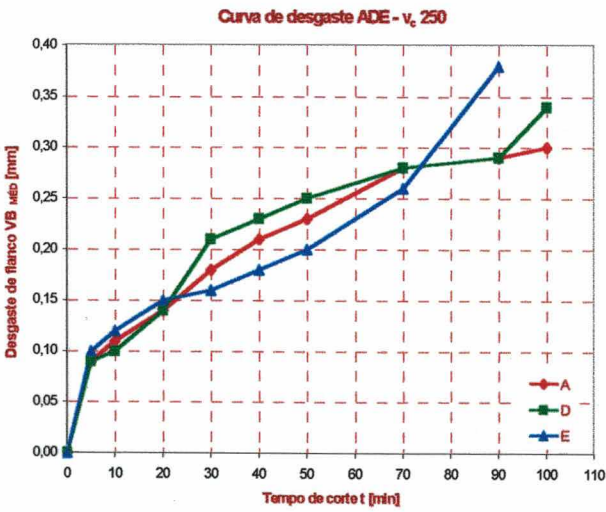
Média e Desvio Padrão dos conjuntos ACF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACF Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos ACF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ADE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,14	0,17	0,11
30	0,18	0,32	0,04
40	0,20	0,34	0,06
50	0,22	0,36	0,08
70	0,27	0,33	0,20
90	0,32	0,60	0,03
100	0,32	-	-
110			

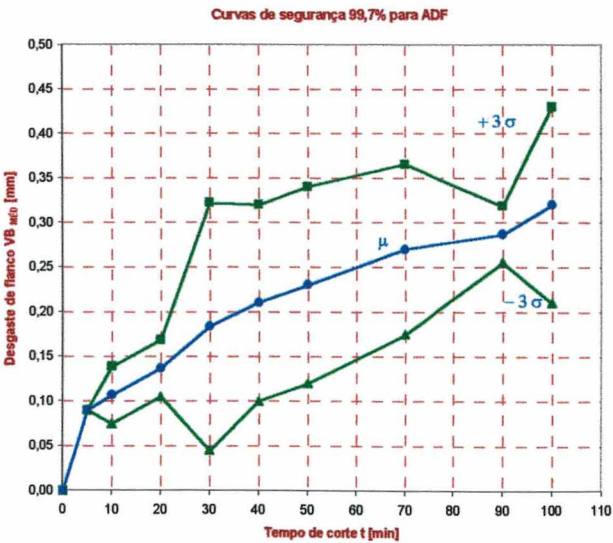
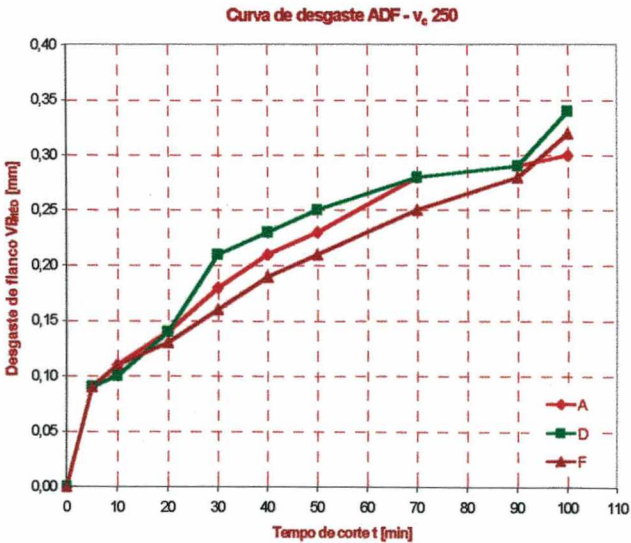
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ADE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ADE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ADE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ADF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,13	0,16	0,10
30	0,18	0,32	0,04
40	0,21	0,32	0,09
50	0,23	0,34	0,11
70	0,27	0,36	0,17
90	0,28	0,31	0,25
100	0,32	0,43	0,20
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ADF

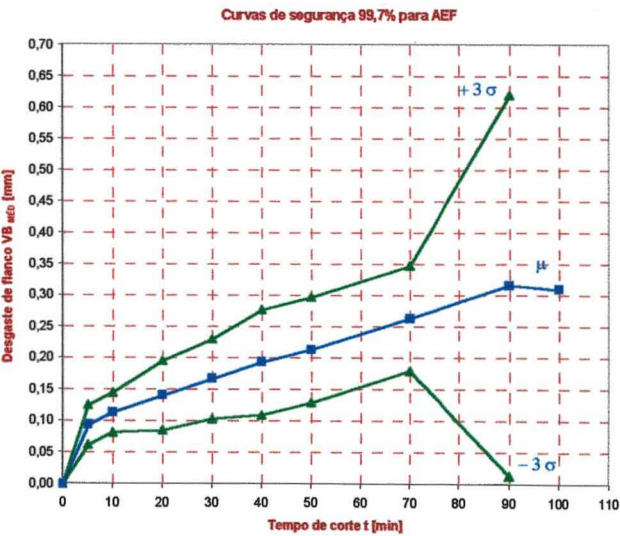
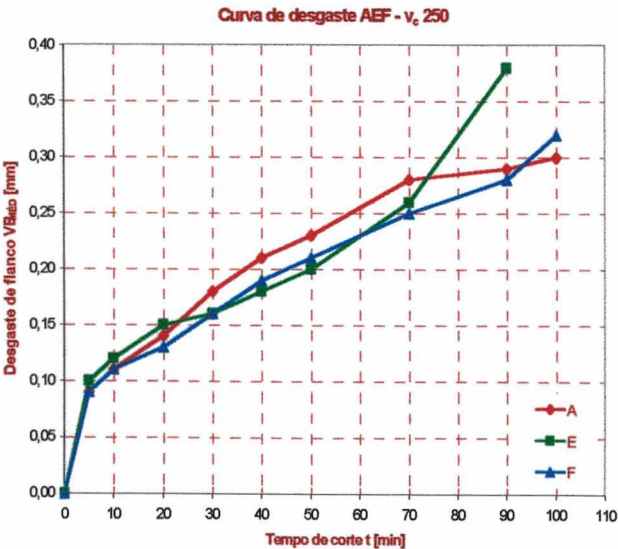


Comportamento de desgaste dos Conjuntos ADF

Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ADF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS AEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,14	0,08
20	0,14	0,19	0,08
30	0,16	0,23	0,10
40	0,19	0,27	0,10
50	0,213	0,29	0,12
70	0,26	0,34	0,17
90	0,31	0,61	0,01
100	0,31	-	-
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos AEF

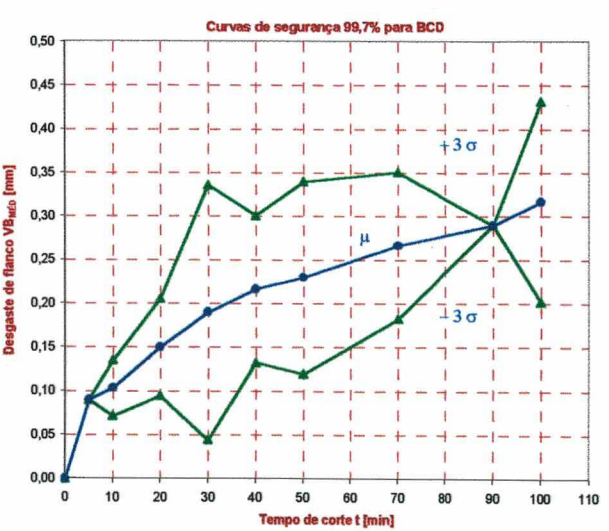
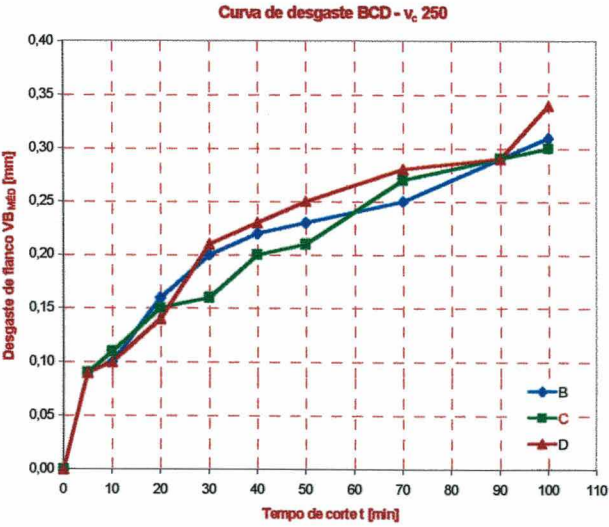


Comportamento de desgaste dos Conjuntos AEF

Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos AEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,15	0,20	0,09
30	0,19	0,33	0,04
40	0,21	0,30	0,13
50	0,23	0,34	0,11
70	0,26	0,35	0,18
90	0,29	0,29	0,29
100	0,31	0,43	0,20
110			

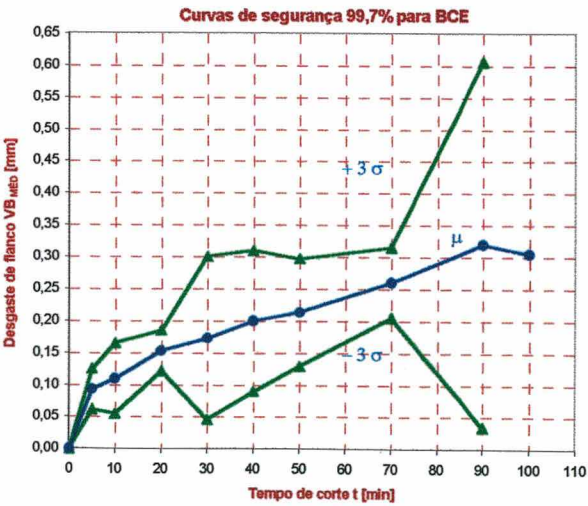
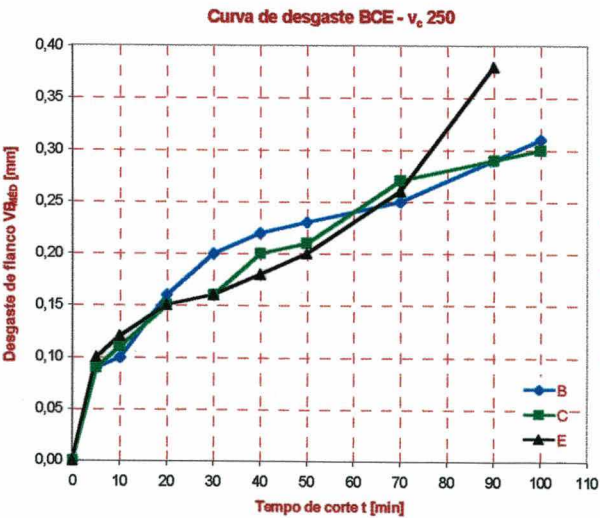
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCD



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCD Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,15	0,18	0,12
30	0,17	0,30	0,04
40	0,20	0,31	0,08
50	0,21	0,29	0,12
70	0,26	0,31	0,20
90	0,32	0,60	0,03
100	0,30		
110			

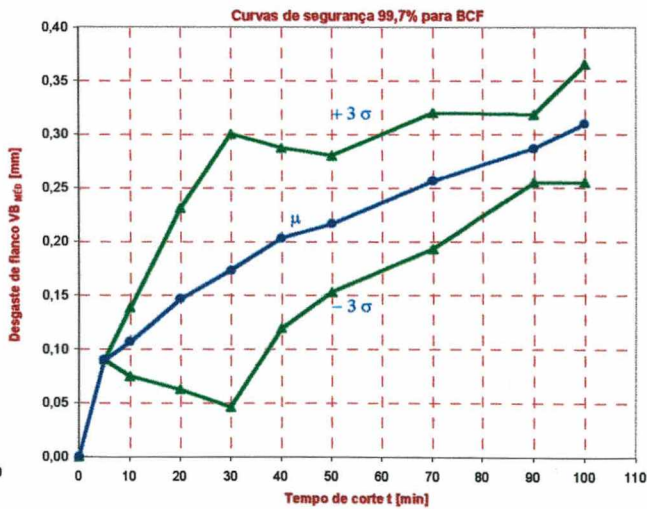
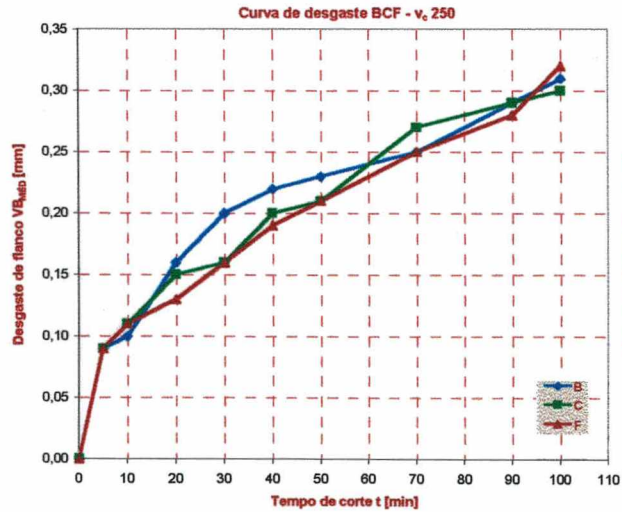
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,23	0,06
30	0,17	0,30	0,04
40	0,20	0,28	0,11
50	0,21	0,28	0,15
70	0,25	0,32	0,19
90	0,28	0,31	0,25
100	0,31	0,36	0,25
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCF

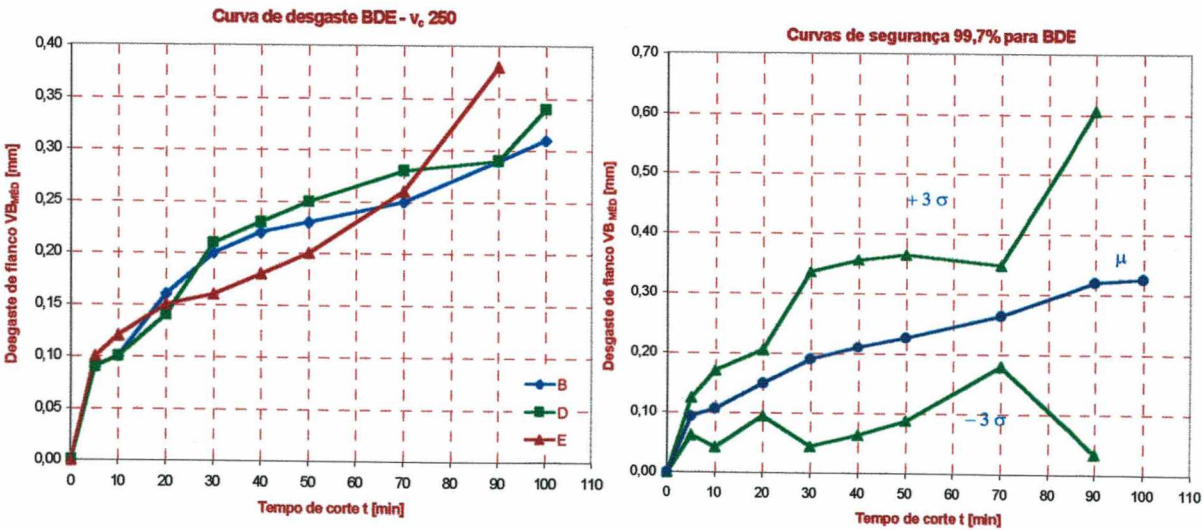


Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCF

Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,10	0,17	0,04
20	0,15	0,20	0,09
30	0,19	0,33	0,04
40	0,21	0,35	0,06
50	0,22	0,36	0,08
70	0,26	0,34	0,17
90	0,32	0,60	0,03
100	0,32		
110			

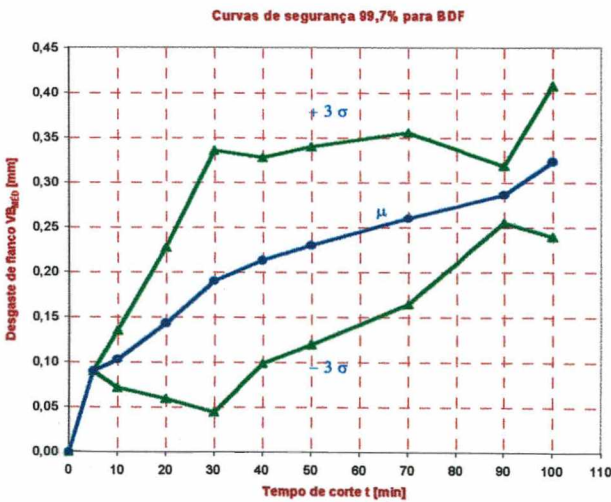
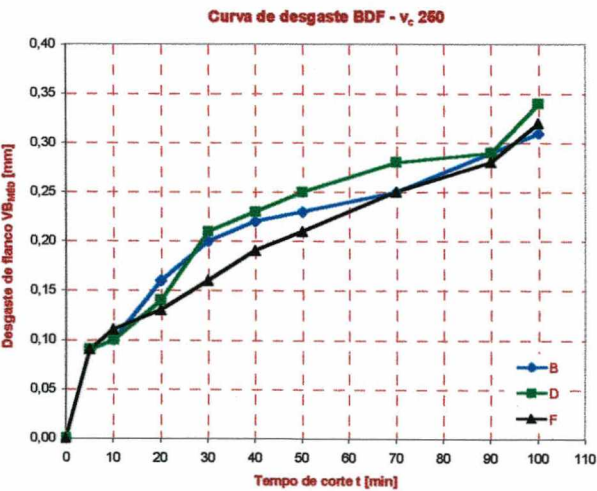
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BDE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BDE Valor médio e intervalo de 3 σ dos Conjuntos BDE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,22	0,05
30	0,19	0,33	0,04
40	0,21	0,32	0,09
50	0,23	0,34	0,11
70	0,26	0,35	0,16
90	0,28	0,31	0,25
100	0,32	0,40	0,23
110			

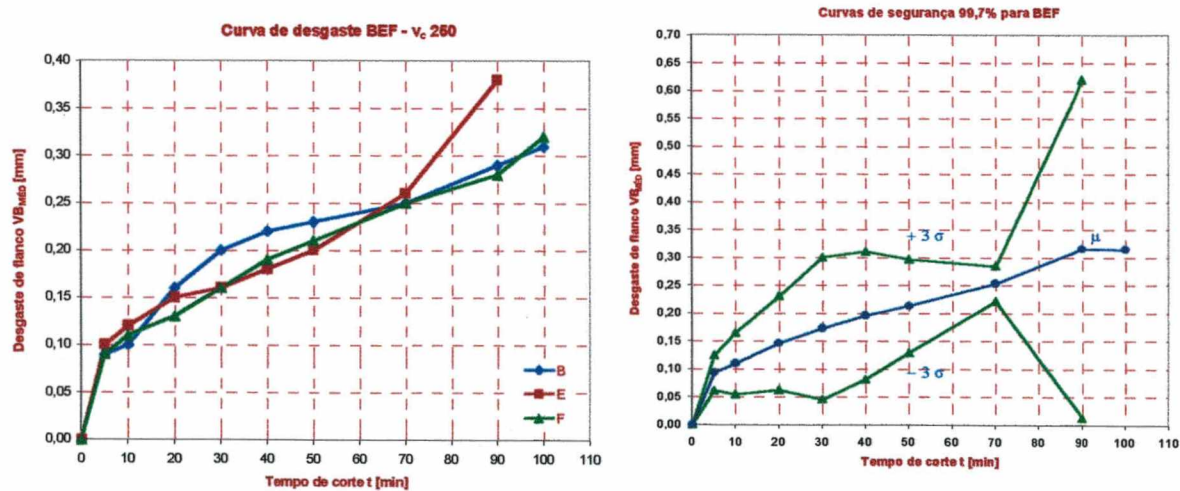
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BDF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BDF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,14	0,23	0,06
30	0,17	0,30	0,04
40	0,19	0,31	0,08
50	0,21	0,29	0,12
70	0,25	0,28	0,22
90	0,31	0,61	0,01
100	0,31		
110			

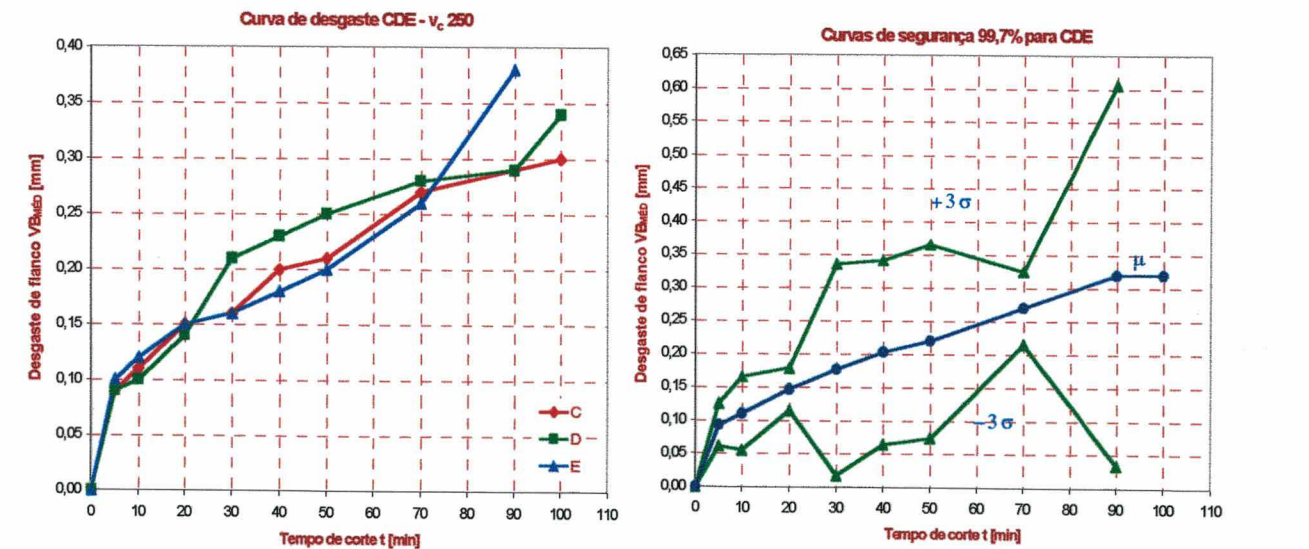
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,14	0,17	0,11
30	0,17	0,33	0,01
40	0,20	0,34	0,06
50	0,22	0,36	0,07
70	0,27	0,32	0,21
90	0,32	0,60	0,03
100	0,32		
110			

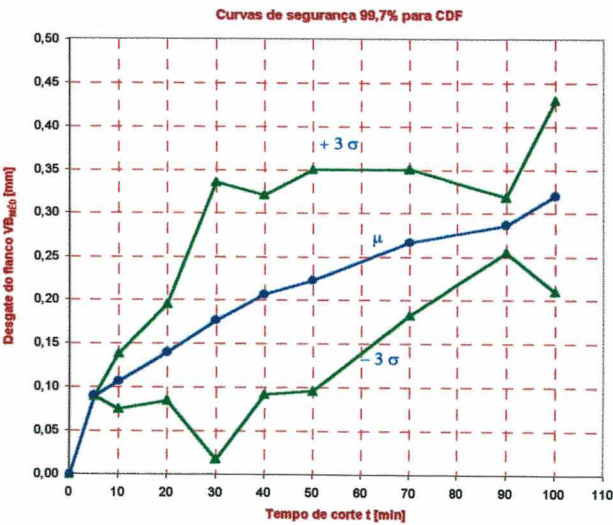
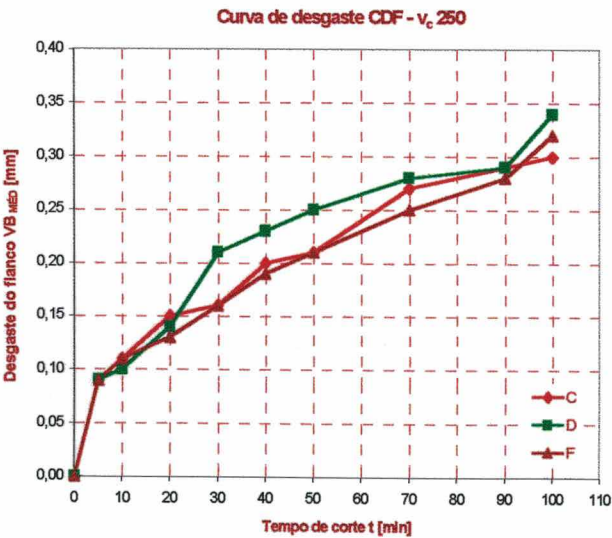
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos CDE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos CDE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos CDE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,19	0,08
30	0,17	0,33	0,01
40	0,20	0,32	0,09
50	0,22	0,35	0,09
70	0,26	0,35	0,18
90	0,28	0,31	0,25
100	0,32	0,43	0,20
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos CDF

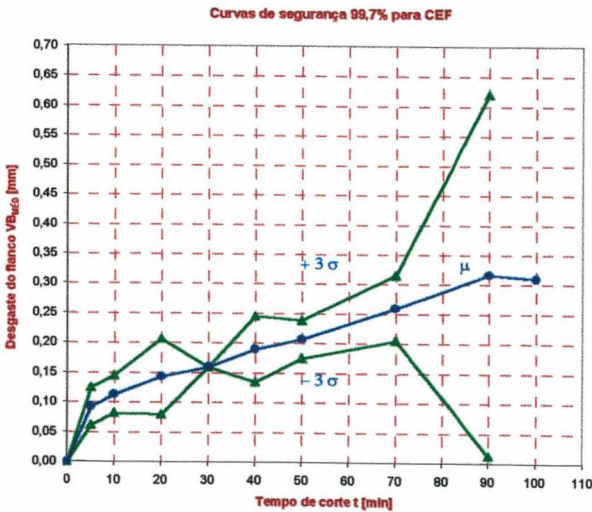
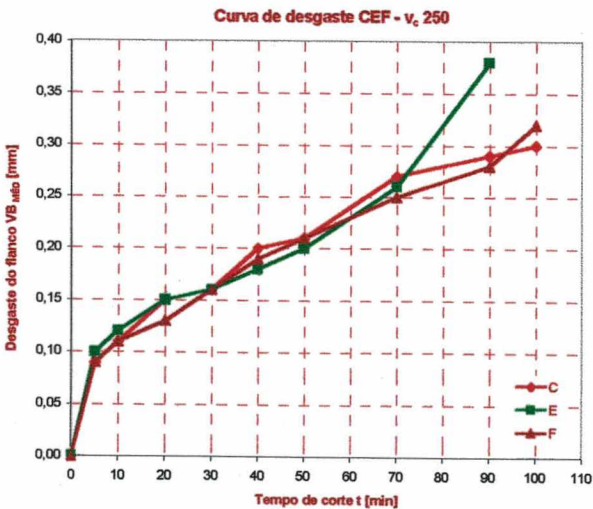


Comportamento de desgaste dos Conjuntos CDF

Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos CDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,14	0,08
20	0,14	0,20	0,07
30	0,16	0,16	0,16
40	0,19	0,24	0,13
50	0,20	0,23	0,17
70	0,26	0,31	0,20
90	0,31	0,61	0,01
100	0,31		
110			

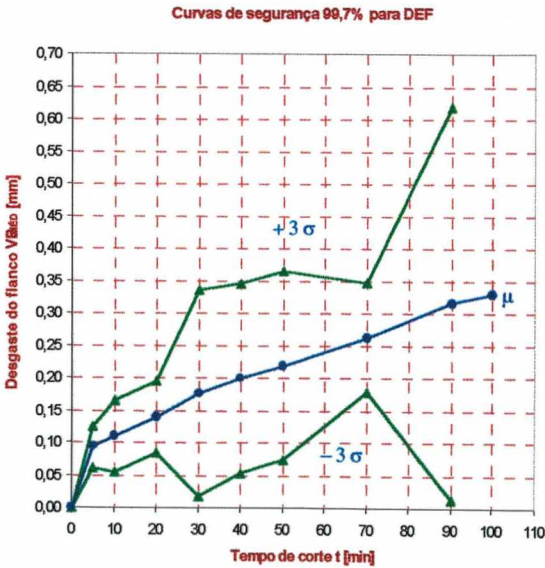
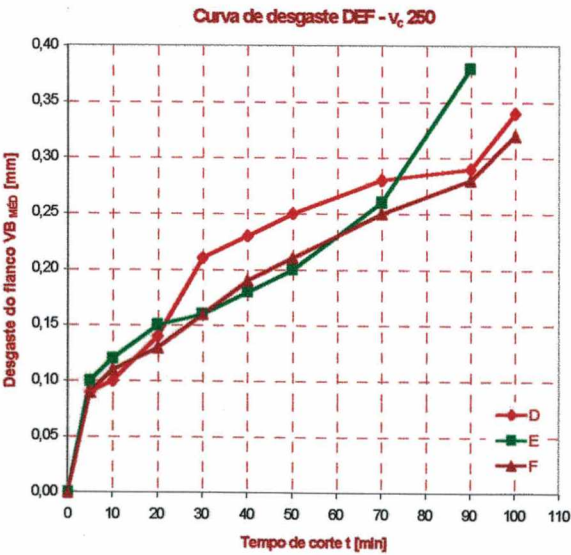
Média e Desvio Padrão dos conjuntos CEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos CEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos CEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS DEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,16	0,05
20	0,14	0,19	0,08
30	0,17	0,33	0,01
40	0,20	0,34	0,05
50	0,22	0,36	0,07
70	0,26	0,34	0,17
90	0,31	0,61	0,01
100	0,33		
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos DEF

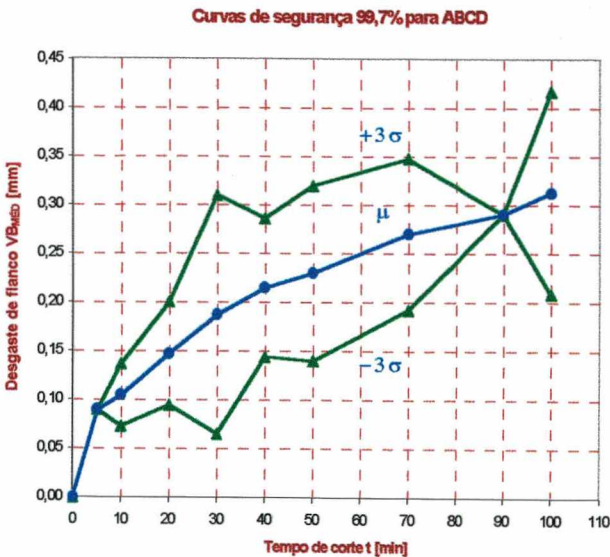
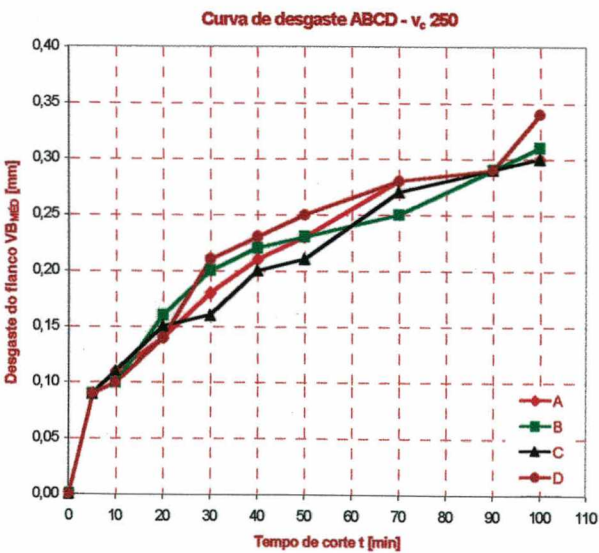


Comportamento de desgaste dos Conjuntos DEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos DEF

3. COMBINAÇÕES QUATRO À QUATRO

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCD			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,20	0,09
30	0,18	0,30	0,06
40	0,21	0,28	0,14
50	0,23	0,31	0,14
70	0,27	0,34	0,19
90	0,29	0,29	0,29
100	0,31	0,41	0,20
110			

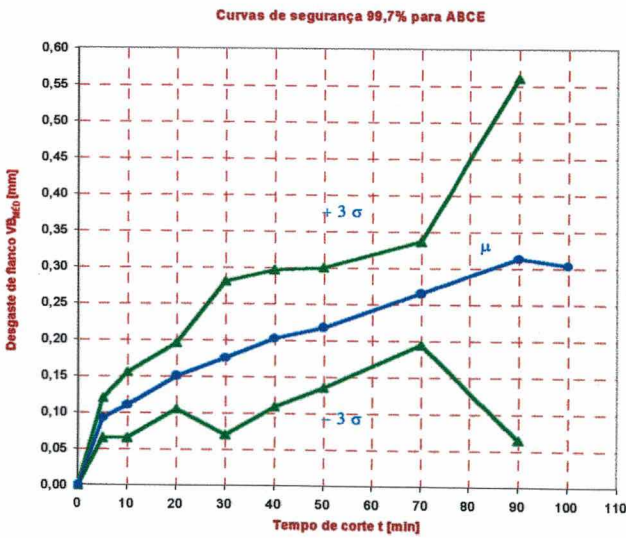
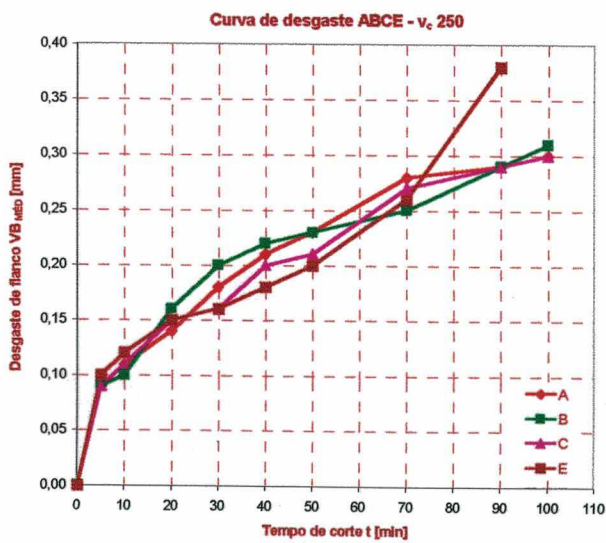
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABCD



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABCD Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABCD

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,15	0,19	0,10
30	0,17	0,28	0,06
40	0,20	0,29	0,10
50	0,21	0,30	0,13
70	0,26	0,33	0,19
90	0,31	0,56	0,06
100	0,30		
110			

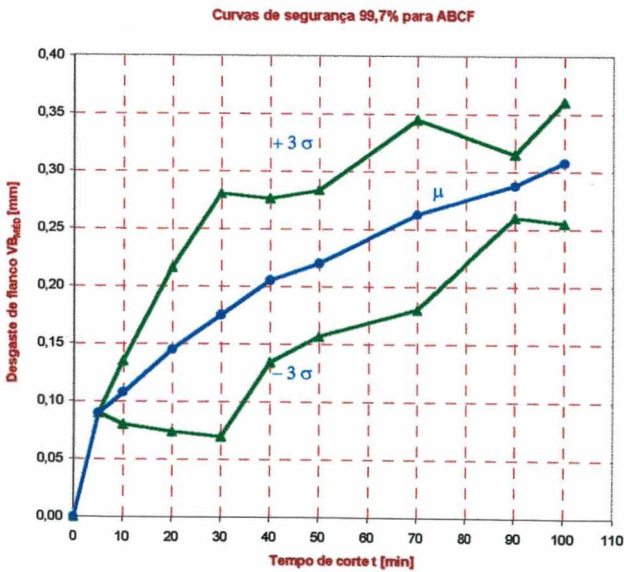
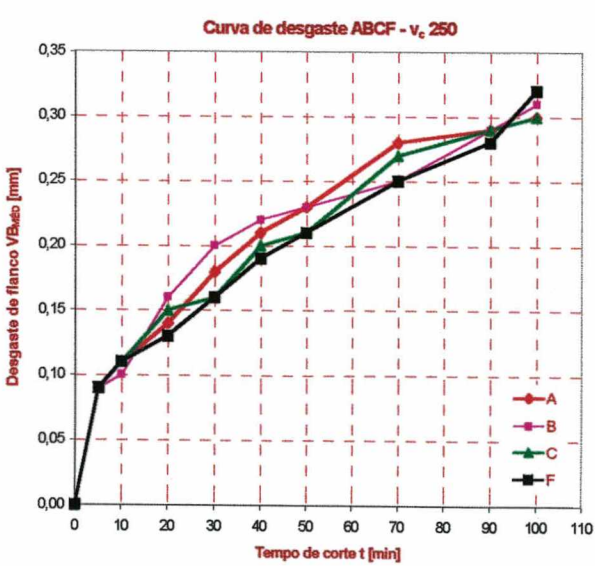
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABCE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABCE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABCE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCF			
SEGURANÇA DE 99.7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,21	0,07
30	0,17	0,28	0,06
40	0,20	0,27	0,13
50	0,22	0,28	0,15
70	0,26	0,34	0,17
90	0,28	0,31	0,25
100	0,30	0,36	0,25
110			

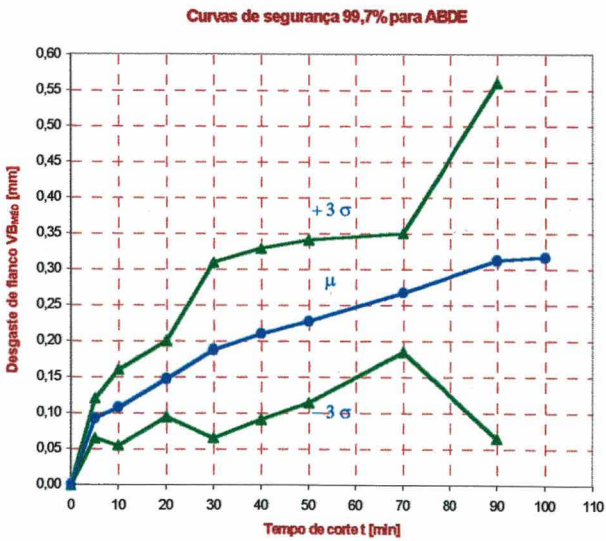
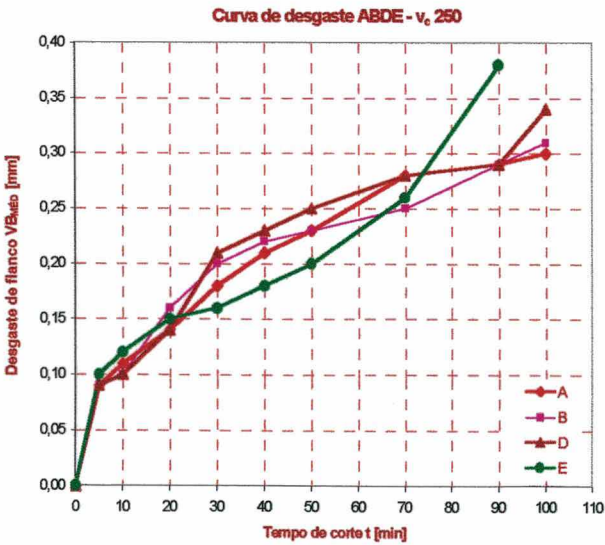
Média e Desvio Padrão dos conjuntos ABCF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABCF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABCF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,10	0,16	0,05
20	0,14	0,20	0,09
30	0,18	0,30	0,06
40	0,21	0,32	0,09
50	0,22	0,34	0,11
70	0,26	0,35	0,18
90	0,31	0,56	0,06
100	0,31		
110			

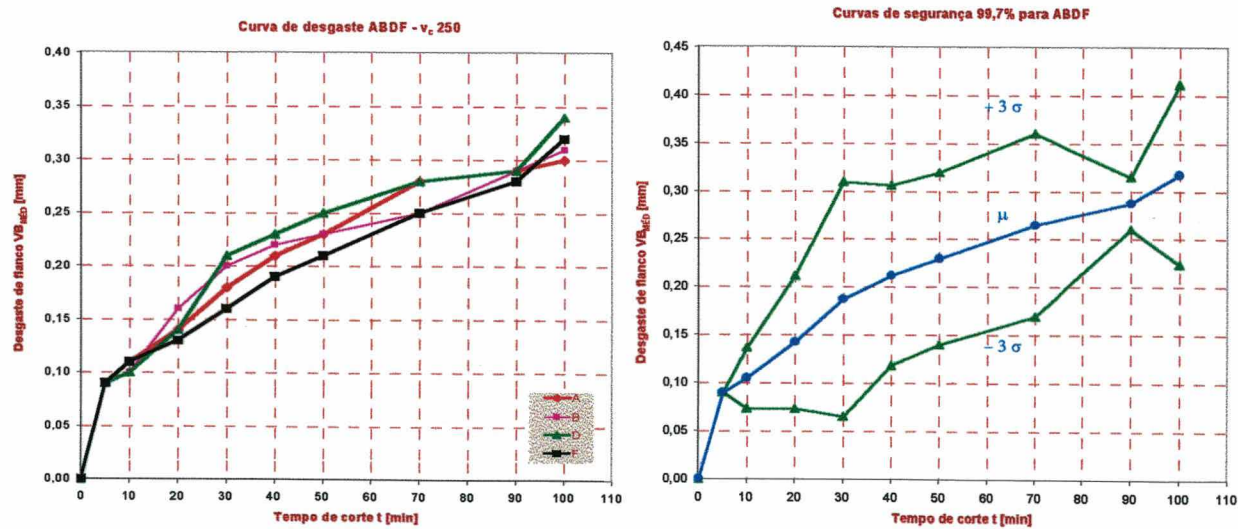
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABDE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABDE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABDE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,21	0,07
30	0,18	0,30	0,06
40	0,21	0,30	0,11
50	0,23	0,31	0,14
70	0,26	0,36	0,16
90	0,28	0,31	0,25
100	0,31	0,41	0,22
110			

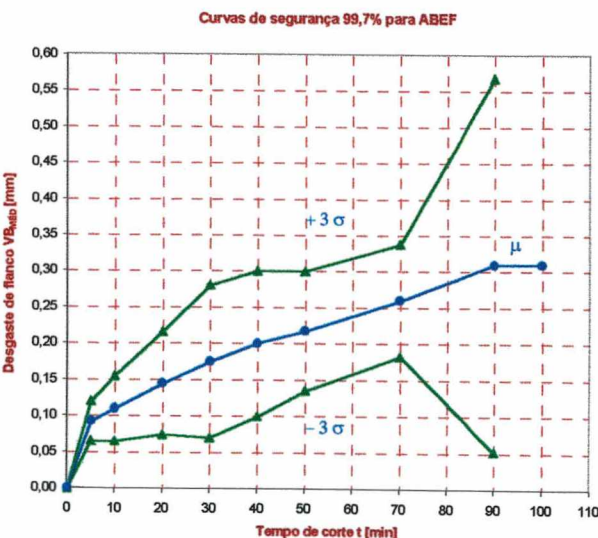
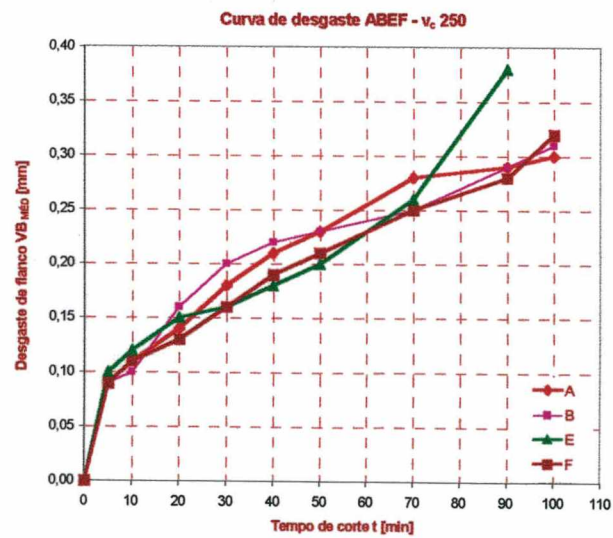
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABDF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABDF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,14	0,21	0,07
30	0,17	0,28	0,06
40	0,20	0,30	0,09
50	0,21	0,30	0,13
70	0,26	0,33	0,18
90	0,31	0,56	0,05
100	0,31		
110			

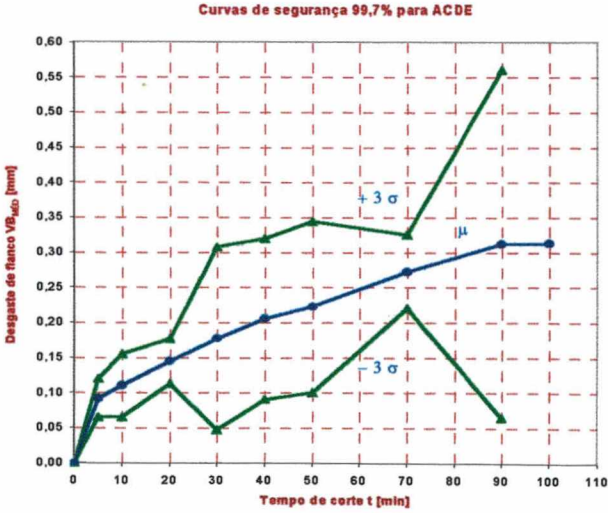
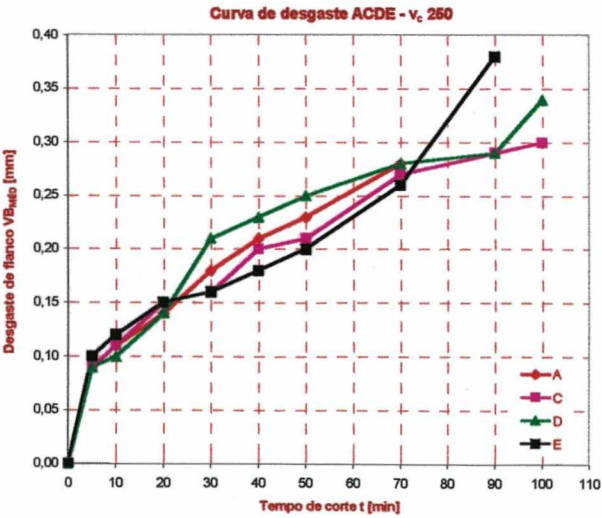
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,14	0,17	0,11
30	0,17	0,30	0,04
40	0,20	0,31	0,09
50	0,22	0,34	0,10
70	0,27	0,32	0,21
90	0,31	0,56	0,06
100	0,31		
110			

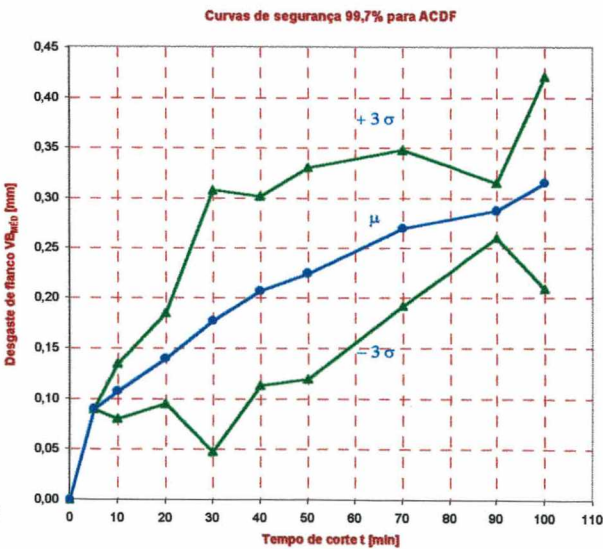
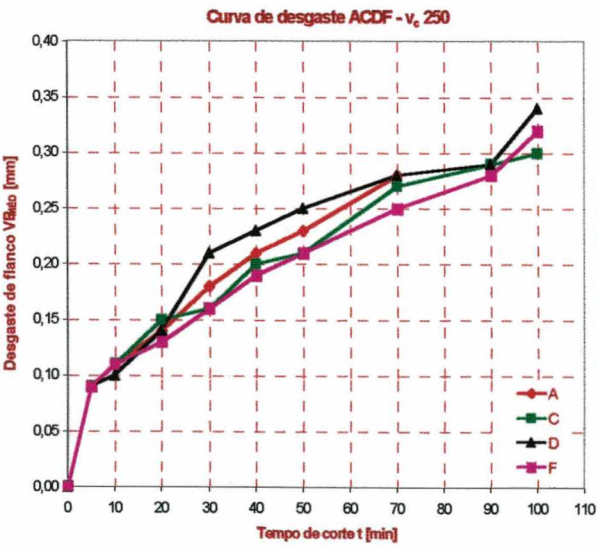
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ACDE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACDE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACDE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,18	0,09
30	0,17	0,30	0,04
40	0,20	0,30	0,11
50	0,22	0,33	0,11
70	0,27	0,34	0,19
90	0,28	0,31	0,25
100	0,31	0,42	0,20
110			

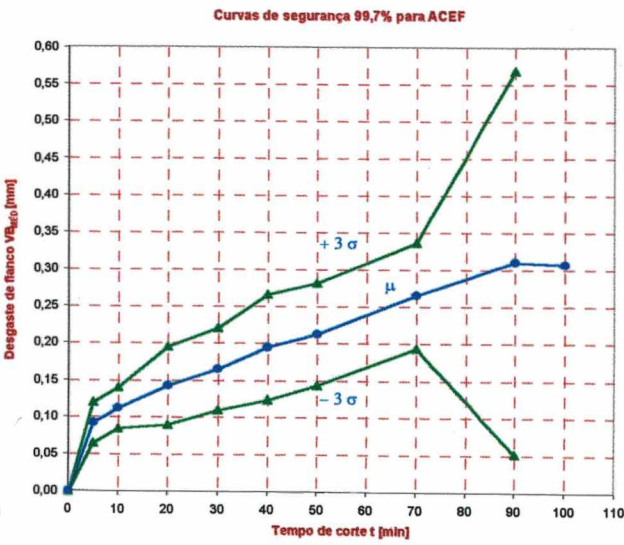
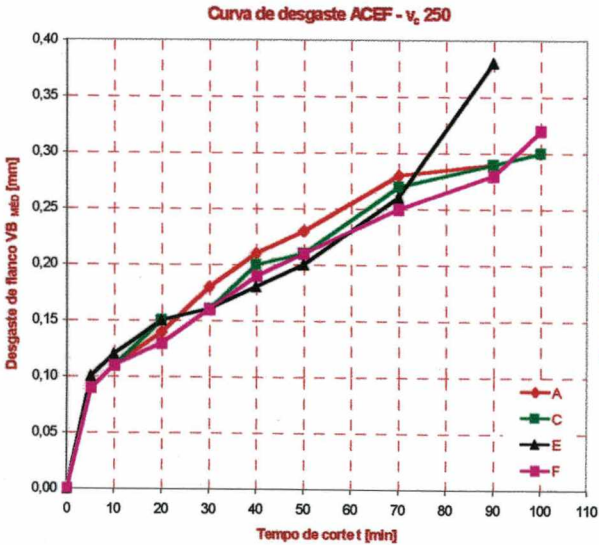
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ACDF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACDF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,14	0,08
20	0,14	0,19	0,08
30	0,16	0,22	0,10
40	0,19	0,26	0,12
50	0,21	0,28	0,14
70	0,26	0,33	0,19
90	0,31	0,56	0,05
100	0,30		
110			

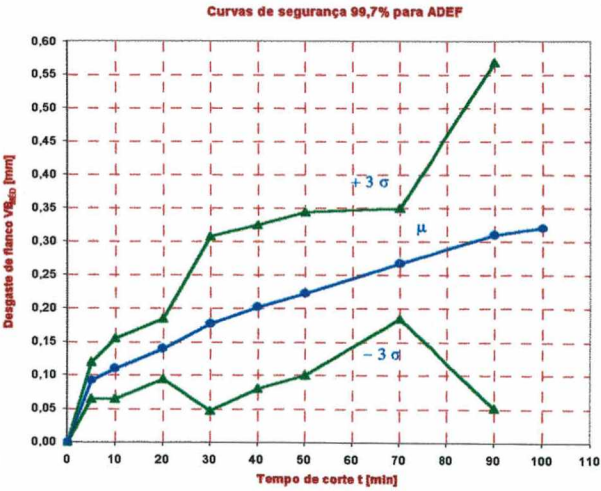
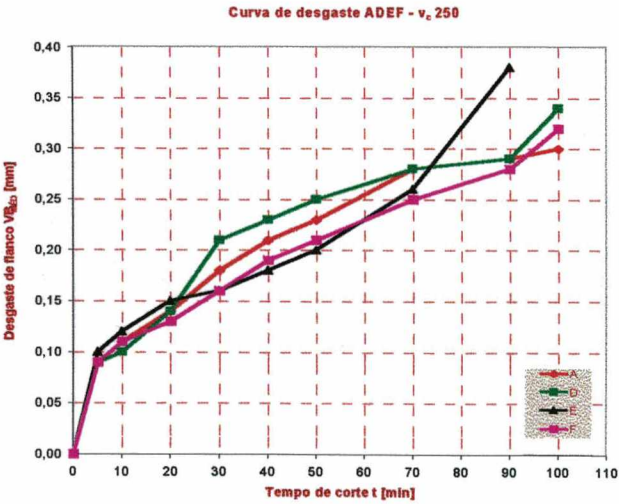
Média e Desvio Padrão dos conjuntos ACEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ADEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,14	0,18	0,09
30	0,17	0,30	0,04
40	0,20	0,32	0,08
50	0,22	0,34	0,10
70	0,26	0,35	0,18
90	0,31	0,56	0,05
100	0,32		
110			

Média e Desvio Padrão dos conjuntos ADEF

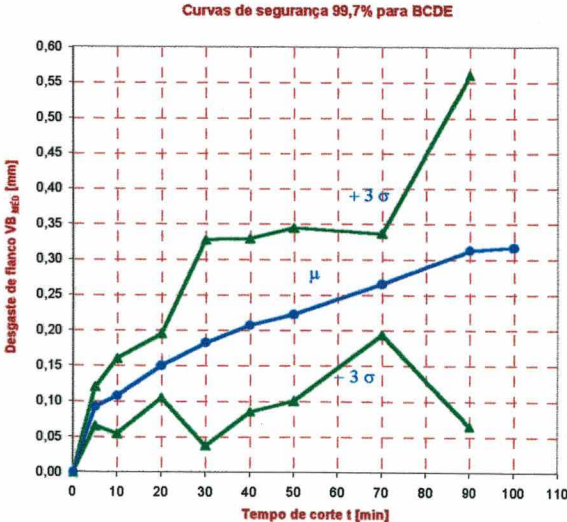
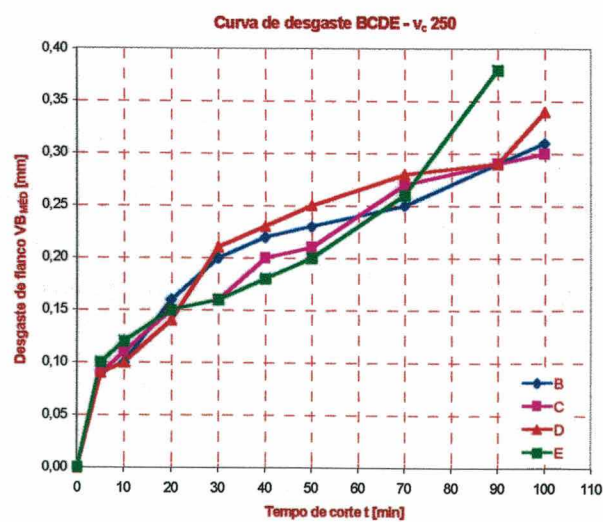


Comportamento de desgaste dos Conjuntos ADEF

Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ADEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,10	0,16	0,05
20	0,15	0,19	0,10
30	0,18	0,32	0,03
40	0,20	0,32	0,08
50	0,22	0,34	0,10
70	0,26	0,33	0,19
90	0,31	0,56	0,06
100	0,31		
110			

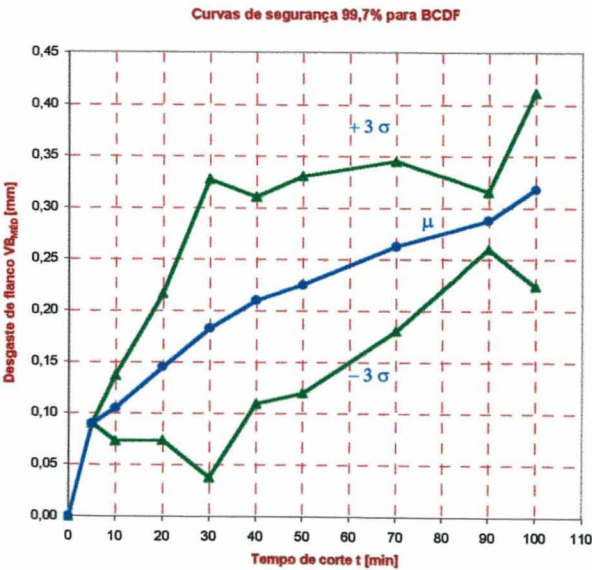
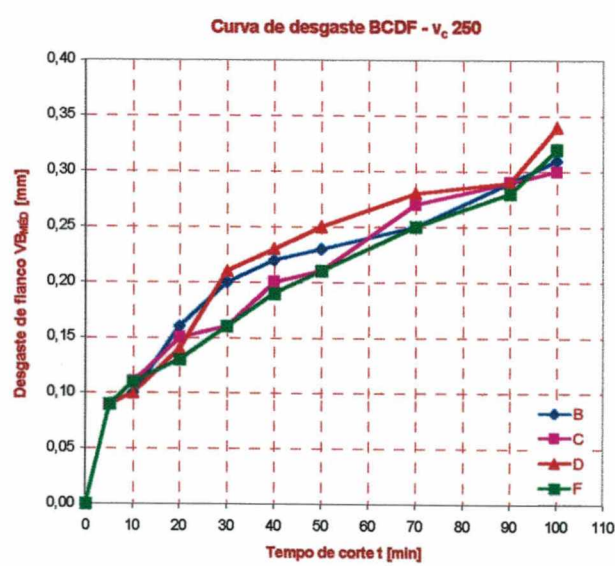
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCDE



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCDE Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCDE

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,21	0,07
30	0,18	0,32	0,03
40	0,21	0,31	0,10
50	0,22	0,33	0,11
70	0,26	0,34	0,17
90	0,28	0,31	0,25
100	0,31	0,41	0,22
110			

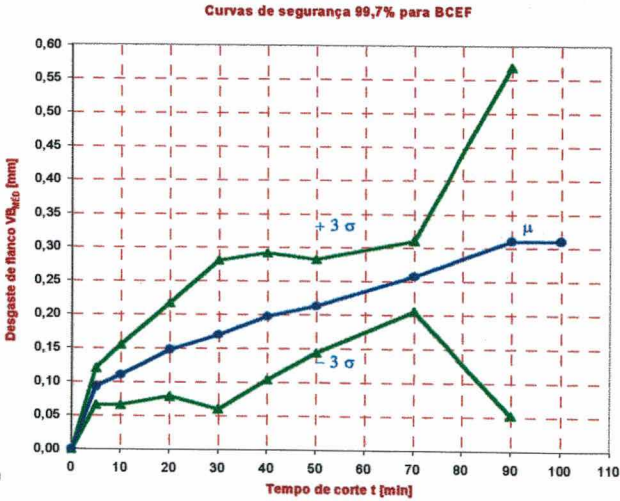
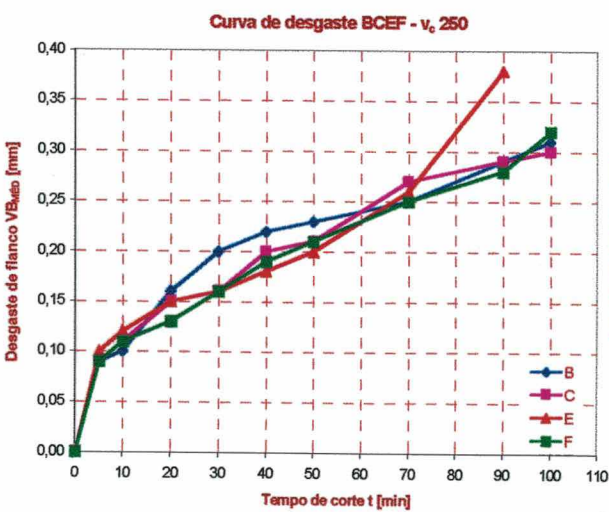
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCDF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCDF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,14	0,21	0,07
30	0,17	0,28	0,05
40	0,19	0,29	0,10
50	0,21	0,28	0,14
70	0,25	0,31	0,20
90	0,31	0,56	0,05
100	0,31		
110			

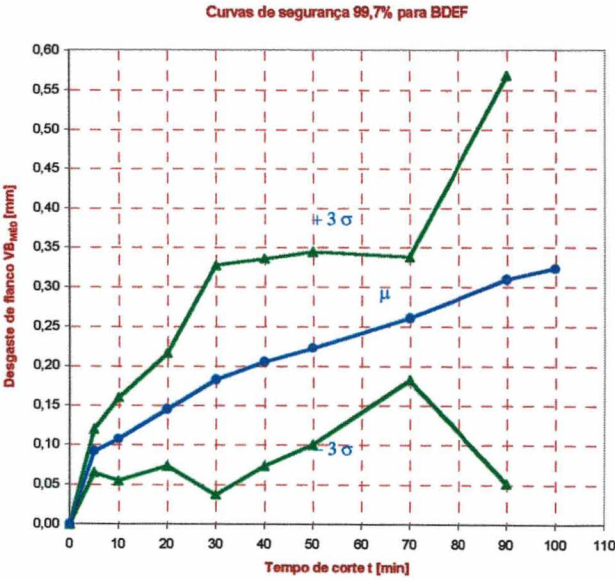
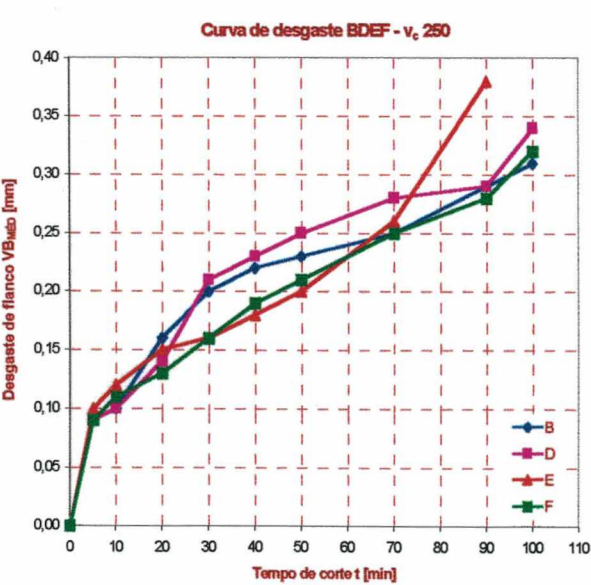
Média e Desvio Padrão dos conjuntos BCEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BDEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,10	0,16	0,05
20	0,14	0,21	0,07
30	0,18	0,32	0,03
40	0,20	0,33	0,07
50	0,22	0,34	0,10
70	0,26	0,33	0,18
90	0,31	0,56	0,05
100	0,32		
110			

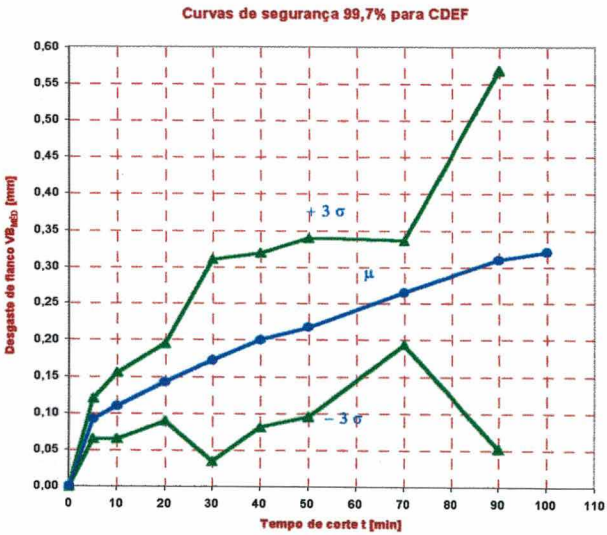
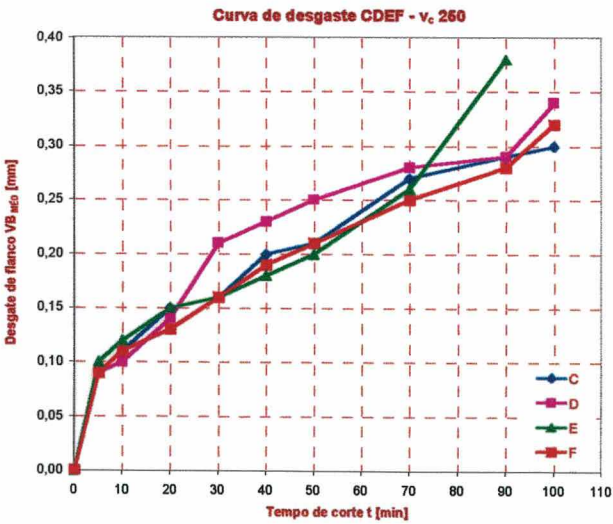
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BDEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BDEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BDEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS CDEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,12	0,06
10	0,11	0,15	0,06
20	0,14	0,19	0,08
30	0,17	0,31	0,03
40	0,20	0,31	0,08
50	0,21	0,33	0,09
70	0,26	0,33	0,19
90	0,31	0,56	0,05
100	0,32		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos CDEF

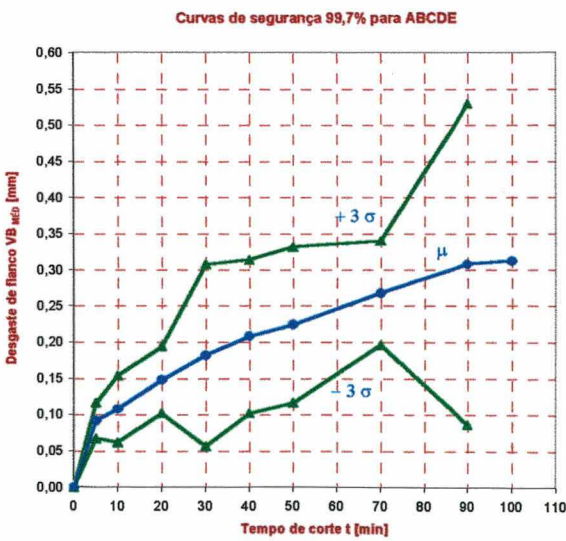
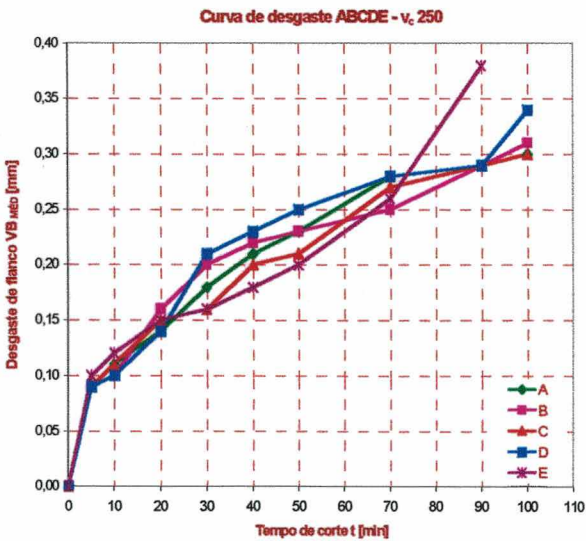


Comportamento de desgaste dos Conjuntos CDEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos CDEF

4. COMBINAÇÕES CINCO A CINCO

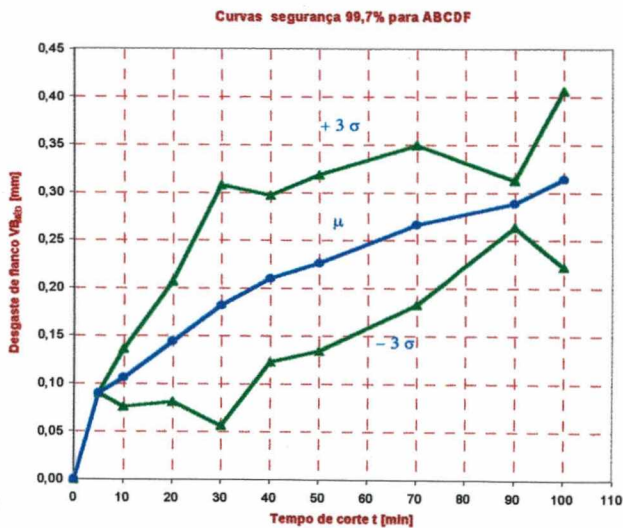
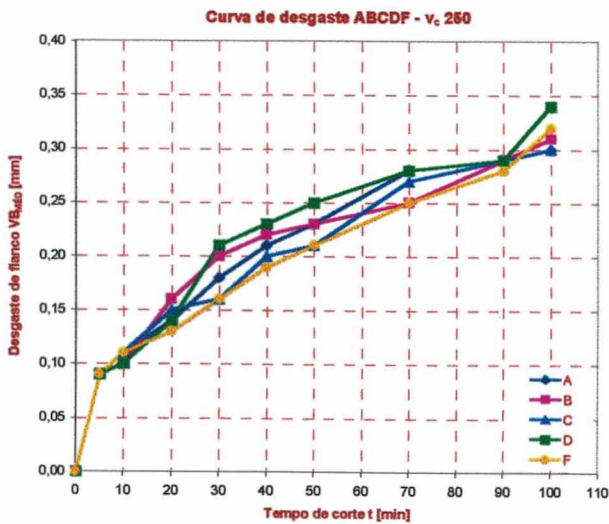
MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCDE			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,11	0,06
10	0,10	0,15	0,06
20	0,14	0,19	0,10
30	0,18	0,30	0,05
40	0,20	0,31	0,10
50	0,22	0,33	0,11
70	0,26	0,33	0,19
90	0,30	0,52	0,08
100	0,31		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABCDE



MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCDF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,09	0,09
10	0,10	0,13	0,07
20	0,14	0,20	0,08
30	0,18	0,30	0,05
40	0,21	0,29	0,12
50	0,22	0,31	0,13
70	0,26	0,34	0,18
90	0,28	0,31	0,26
100	0,31	0,40	0,22
110			

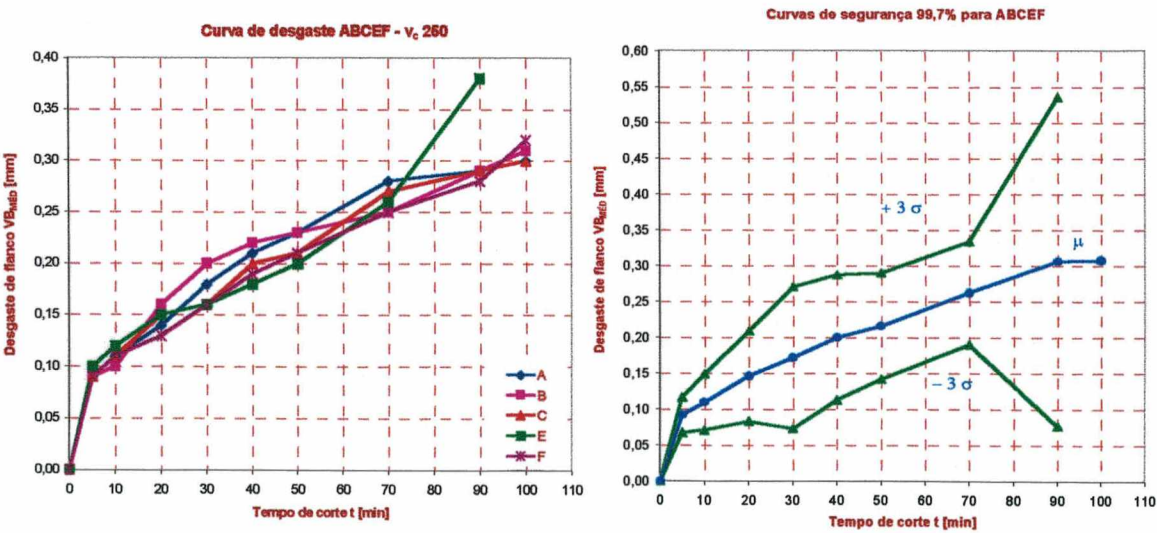
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABCDF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABCDF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABCDF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABCEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,11	0,06
10	0,11	0,14	0,07
20	0,14	0,20	0,08
30	0,17	0,27	0,07
40	0,20	0,28	0,11
50	0,21	0,28	0,14
70	0,26	0,33	0,19
90	0,30	0,53	0,07
100	0,30		
110			

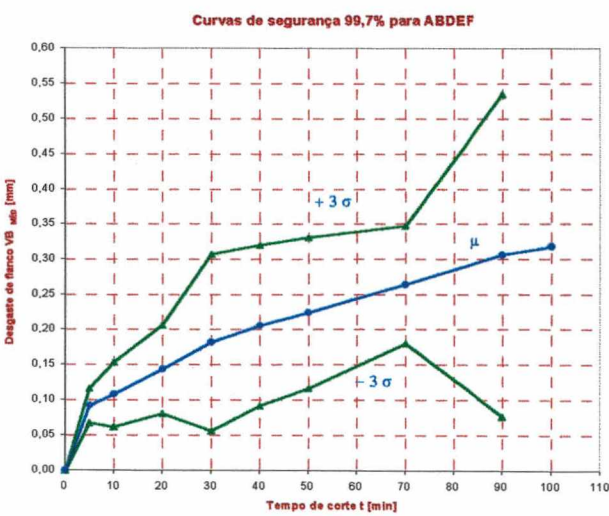
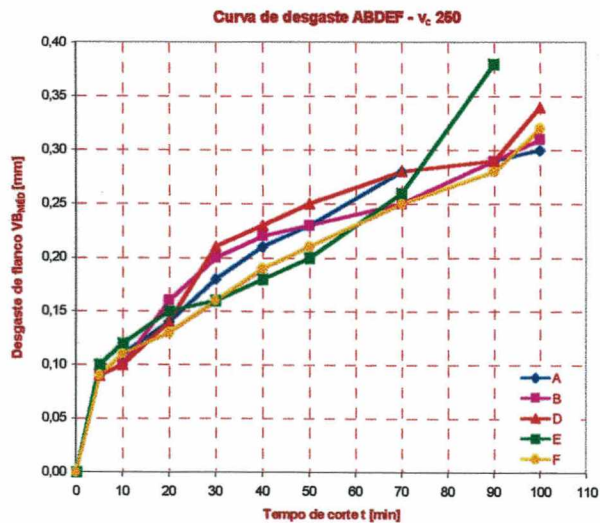
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABCEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABCEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABCEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ABDEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,11	0,06
10	0,10	0,15	0,06
20	0,14	0,20	0,08
30	0,18	0,30	0,05
40	0,20	0,32	0,09
50	0,22	0,33	0,11
70	0,26	0,34	0,18
90	0,30	0,53	0,07
100	0,31		
110			

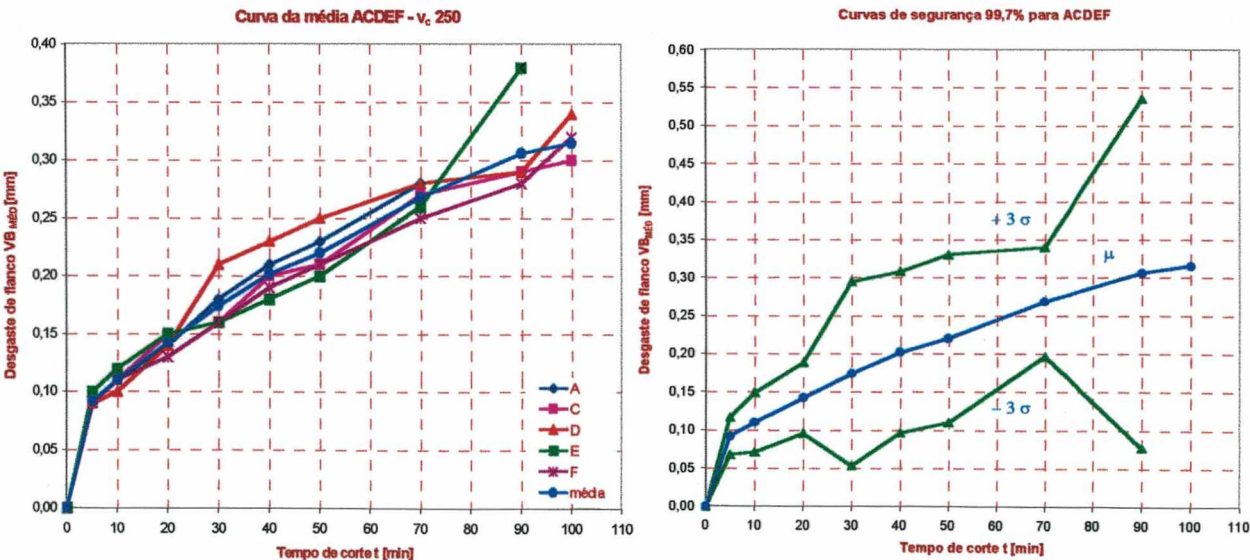
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ABDEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ABDEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ABDEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS ACDEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,11	0,06
10	0,11	0,14	0,07
20	0,14	0,18	0,09
30	0,17	0,29	0,05
40	0,20	0,30	0,09
50	0,22	0,33	0,10
70	0,26	0,33	0,19
90	0,30	0,53	0,07
100	0,31		
110			

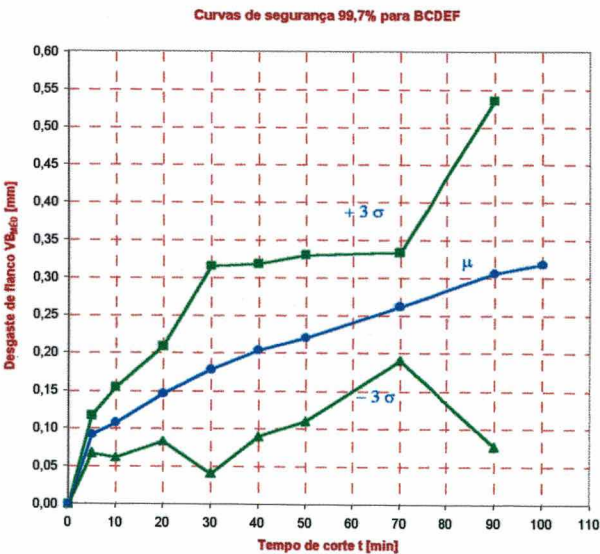
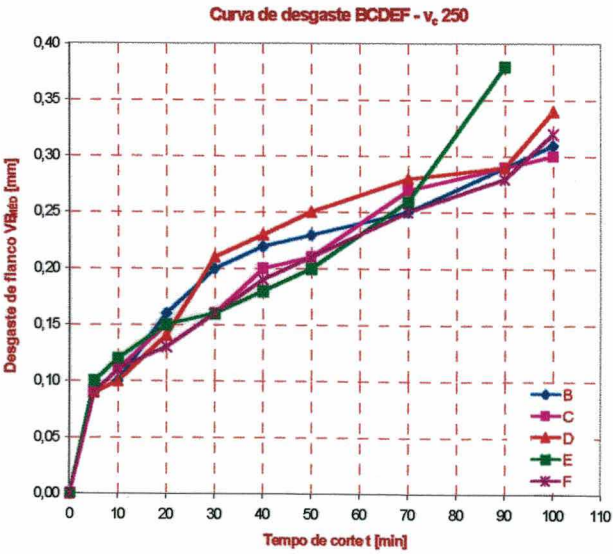
Média e Desvio Padrão dos Conjuntos ACDEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos ACDEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos ACDEF

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS CONJUNTOS BCDEF			
SEGURANÇA DE 99,7%			
Tempo	μ	$\mu + \kappa\sigma$	$\mu - \kappa\sigma$
0	0	0	0
5	0,09	0,11	0,06
10	0,10	0,15	0,06
20	0,14	0,20	0,08
30	0,17	0,31	0,04
40	0,20	0,31	0,08
50	0,22	0,33	0,10
70	0,26	0,33	0,19
90	0,30	0,53	0,07
100	0,31		
110			

Média e Desvio Padrão dos Conjuntos BCDEF



Comportamento de desgaste dos Conjuntos BCDEF Valor médio e intervalo de 3σ dos Conjuntos BCDEF

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABEL, R. – **Keramics Schneidstoffe. Fachtagung-Böblingen**, fevereiro 1985.
- [2] ANG, A. H-S.; TANG, W. H.; **Probability Concepts in Engineering Planning and Desing**. Volume I: Basic Principles; John Wiley & Sons. New York, p. 96-123, 1975.
- [3] ANG, A. H-S.; TANG, W. H.; **Probability Concepts in Engineering Planing and Desing**. Volume II: Decision, Risk and Reability; John Wiley & Sons, p. 75-98, 1990.
- [4] BALABAN, H.S. & KOWALSK, A. R. **The Final Measure. Proceeding Annual Reliability and Maintainnability Symposium**, PEPS UFSC, p. 123-128, 1984.
- [5] BENTZ W. R. & HUTCHINSON T. L. **An Approach to Reliability Growth Without Dedicating Testing. A Case History and Some Results. Proceeding Annual Reliability and Maintainnability Symposium**, p. 458-464, 1984.
- [6] BOEHS, L. **Ferramentas para Usinagem, Materiais, Avarias e Desgastes**. Apostila, GRUCON-UFSC, dezembro 1991.
- [7] CHAPMAN, B. **Glow Discharge Processes**. John Willey & Sons Inc., N. Y. 1980.
- [8] CHIAVERINI V., **Tecnologia Mecânica, Volume II, Materiais de Construção Mecânica**, Editora Mc. Graw Hill do Brasil, 1978.
- [9] CROW H, L. FRANKLIN H. P. , ROBBINS B. N. , **Principles of successful Reliability. Proceeding Annual Reliability and Maintainnability Symposium**, p. 157-159, 1994.
- [10] CUPINI, N. L. **Métodos Simples Facilitam a Seleção do Metal a Ser Usinado**. Dirigente Industrial, Vol. 17, Nº 7, agosto, 1997.
- [11] DIN – **Normas Fundamentales para la Tecnica Mecânica**. Editorial Balzola, 1970.
- [12] **Fabricação e Desenvolvimento do Metal Duro 1**. Apostila Sandvik Coromant.
- [13] FERRARESI, D. **Fundamentos de Usinagem dos Metais**. 5ª Edição, Ed. Blücher, São Paulo, SP, p. 75-198, 1977.
- [14] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Tool-Life Testing with Single Point Turning Tools**, ISO 3685. Switzerland, 1977.
- [15] ISRAELSSON, J. **A Progress Report on Cutting Tool Materials**. American Machinist, december 1992.

-
- [16] ISRAELSSON, J. **Carbide Technology Improves Insert Performance.** American Machinist, january 1995.
- [17] KÖNIG, W. **Fertigungsverfahren: Drehen, Fraesen, Bohren.** Dusseldorf, VDI-Verlag, Band 1, p. 10-95, 1990.
- [18] KÖNIG, W.; **Technologische Grundlagen zur Frage der Kühlschmierung bei der spanenden Bearbeitung metallischer werkstoffe.** Schmiertechnik (1972), S. 7/12.
- [19] KOVASH C. W. , EKENROD J.J., **Studies on Sulfide Inclusions on Machinability of Steels, 13th. Mechanical Working and Steel Processing Conference, AIME, New York, 1971, p. 300-331.**
- [20] MARCONDES, F. C. **A História do Metal Duro.** 1ª Edição. Sandvik do Brasil S/A., março 1990.
- [21] **Metcut Research Association, Machining Databook, 2nd. Edition, Machinability Datacenter, Cincinatio, Ohio, USA, p.35-102, 1979.**
- [22] MONTGONERY D. C. **Desing and Analisys of Experiments.** John Wiley & Sons, 1984.
- [23] NAGAI C. , KANEDA T. , FURUSAWA S. , TAKESHITA H. , YAMAMOTO Y. , **Machinability of Low Carbon Resselphurized Free-cutting Steels on an Automatic-Screw-Machine, Int. Symposium on Influence of Metallurgie on Machinability of Steel, Tokio 1977, p. 57-65.**
- [24] N.N. – SPK – **Feldmühle Werkzeuge-Referate SPK Schneidkeramik Tage, 1984.**
- [25] N.N. – NTK – **Keramik, Cermet, Silizium Nitrit Wendeschneidplatten.**
- [26] O'CONNOR, P.D.T. **Practical Reliability Engineering,** New York: John Wiley, 1988.
- [27] PECHT, G. M. **Reliability predictions: Their use and Misuse.** Simpósio p. 386-389, 1994.
- [28] PRIEST, J. W. **Engineering Desing for Reability and Producibility.** New York: Marcel Dekker, 1988.
- [29] RAHMAN, M.; SEAH, K. H. W.; GOH, T. N. et al. **A study on the Appropriate usage of Different Tool Materials.** Journal of Materials Processing Technology, 29 – 1992.
- [30] RAUSCHER, A. **Ferramentas de Usinagem Revestidas com Nitreto de Titânio Depositado pelo Processo PVD.** 1º Simpósio Brasileiro Sobre Tecnologia de Usinagem. Rio de Janeiro, 1989.
-

-
- [31] RICKERBY, D. S.; MATHEWS, A. **Advanced Surface Coatings: a Handbook of Surface Engineering**. Chapman and Hall. New York. 1991.
- [32] ROSA, E. da., **Confiabilidade em Sistemas Mecânicos**. Introdução para o Curso de Engenharia Mecânica, UFSC, abril 1976.
- [33] SHAW, M. C. **Metal Cutting Principles**. The MIT Press Massachusetts Institute of Technology, 3ª Edição, Cambridge, Massachusetts, 1965.
- [34] SHIGLEY, J. E. – **Mechanical Engineering Design**. Mc Graw Hill, 1972.
- [35] STEMMER, C. E. **Ferramentas de Corte**. 2ª Edição, Florianópolis, 1989.
- [36] TIPNIS V. A. , COOK N. H. , **Machinability of Ressulfurized Steels, Proceedings of 8th Mechanical Working and Steel Processing Conference, AIME, N. Y. 1969, p. 285-308.**
- [37] **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**, 4ª Edição, Vol.3 (Materiais, Finishing and Coating), Society of Manufacturing Engineers (SME), Dearborn, Michigan, 1986.
- [38] **The International of Manufacturing Technology**, A. M. october 1998.
- [39] VAGLE, M. & GATES, A. **Coating the Cutting Edge**. Machine and Tool BLUE BOOK, outubro, 1988.
- [40] VAN VLACK, L. H. , **Correlation of Machinability and Inclusions Characteristics in Ressulfurized Steels, Transaction of ANS, Volume 45, 1953, p. 741-757.**
- [41] WEIBULL, W. – **A Statistical Distribution of wide applicability**. Applied Mechanics, September 1951, p. 293.
- [42] WEINGAERTNER, W.L.; SCHROETER, R.B. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas**. 1ª Edição. Alcan Alumínio do Brasil, São Paulo, 1990.
- [43] WEINGAERTNER, W. L. et. al. **Tecnologia da Usinagem de Alumínio**. Relatório ALCAN n° 4. Laboratório de Mecânica de Precisão, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [44] WEINERT, K. **Relation Between Process Energy and Tool Wear when Turning Hardfacing Alloys**. Annals of the CIRP Vol. 43 – janeiro 1994.
- [45] WERTHEIM, R. – **Improved Tool Life With Silicon Nitride**. Machine and Tool Blue Book, junho 1986, p. 66-68.
-